

# Hemat Energi & Lestari Lingkungan Melalui Bangunan

apa yang terlintas saat kita berbicara mengenai lingkungan? Sebagian besar dari kita akan berpikir tentang kerusakan lingkungan dan krisis energi. Sebenarnya kondisi ini dapat diperbaiki dengan beberapa upaya. Salah satunya melalui bangunan dan lingkungan di sekitar bangunan. Kontribusi yang dapat diberikan setiap bangunan dan lingkungan sekitarnya memang tidak besar, namun faktor elipatannya menjadi besar, karena setiap bangunan di muka bumi dapat berkontribusi.

ekurangpahaman masyarakat mengenai aspek hemat energi dan lestari lingkungan pada bangunan menjadi kendala dalam penerapannya di lapangan. ntuk itulah buku ini ditulis, sebagai jembatan antara teori dan praktik, yang ditujukan bagi akademisi maupun masyarakat umum yang ingin berkontribusi ada kelestarian lingkungan dan energi. Tahap-tahap nyata dan langkah-langkah nci yang dapat dilakukan setiap individu, keluarga atau kelompok pengguna angunan untuk meminimalkan terjadinya krisis lingkungan dipaparkan dengan ambar-gambar yang lengkap. Adapun aspek-aspek yang tercakup meliputi:

- Pencermatan terhadap lahan
- Perancangan dan pemilihan material bangunan
- Sistem pengudaraan dan pencahayaan
- Produksi energi secara mandiri
- Tata vegetasi dan pengelolaan sampah

uku ini juga dilengkapi dengan contoh-contoh bangunan dan lingkungan lestari di Indonesia. Aspek terapan & Bili onggong, guna memudahkan pemahaman dan penerapan hemat energi dan lestari lingkungan pada bangunan.



**Christina Eviutami Mediatika** lahir di Yogyakarta. Menamatkan studi Arsitektur di Universitas Gadjah Mada (1995) dan Doctor of Architecture and Building Science dari University of Glasgow, Glasgow, UK (2000). Karya tulisnya telah dimuat di Kompas, Jakarta Globe, Berita Konstruksi, Properti Indonesia, dll. Penulis adalah dosen di Universitas Kristen Petra Surabaya (2012) dan mulai 2013 menjadi dosen di Universitas Kristen Petra Surabaya. Pernah menjadi Teladan 1 tingkat Kopertis V (2004) serta juara pada lomba Karya Tesis dan Kimpraswil (2003). Memperoleh hibah-hibah dari Dikti, seperti Hibah Riset Kimpraswil (2003). Buku, Penulisan Publikasi Internasional, Academic Recharging, dll. Buku dan juga telah menulis adalah Menuju Rumah Ideal Nyaman dan Sehat (2008), Akustik Bangunan (2009), dan Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan (2009).

enerbit ANDI

Jl. Beo 38-40 Yogyakarta  
Telp. (0274) 561881 Fax. (0274) 588282  
mail: penerbitan@andipublisher.com  
website: www.andipublisher.com



Hemat Energi & Lestari Lingkungan Melalui Bangunan

Christina E. Mediatika

# Hemat Energi & Lestari Lingkungan Melalui Bangunan

Christina E. Mediatika

Hemat Energi dan Lestari Lingkungan Melalui Bangunan  
Oleh: Christina E. Mediastika

Hak Cipta © 2013 pada Penulis

Editor : Nikodemus WK

Setting : Alek

Desain Cover : dan\_dut

Korektor : Susy Oktaviani

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

Penerbit: C.V ANDI OFFSET (Penerbit ANDI)

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Percetakan: ANDI OFFSET

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

**Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan (KDT)**

Mediastika, Christina E

Hemat Energi dan Lestari Lingkungan Melalui Bangunan/

Christina E. Mediastika; — Ed. I. — Yogyakarta: ANDI,

22 21 20 19 18 17 16 15 14 13

xlvi + 354 hlm.; 16 x 23 Cm.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN: 978 - 979 - 29 - 3465 - 6

I. Judul

1. Energi

DDC'21 : 333.79

## DAFTAR ISI

PRAKATA .....	v
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
<b>BAB I ENERGI .....</b>	<b>1</b>
1.1 Energi .....	2
1.2 Sumber Energi Tak Terbarukan.....	5
1.3 Krisis Energi Tak Terbarukan .....	13
1.4 Energi Terbarukan .....	15
1.5 Kesimpulan .....	40
<b>BAB II PENGELOLAAN LAHAN, PENGHEMATAN ENERGI, DAN PELESTARIAN LINGKUNGAN .....</b>	<b>43</b>
2.1 Pemilihan Lahan .....	45
2.2 Ruang Terbuka Hijau (RTH), Sempadan, KDB, dan KLB pada Lahan .....	49
2.3 Konsep Zonasi Kota yang Tidak Hemat Energi .....	53
2.4 Lanskap Arsitektur Hemat Energi .....	54
2.5 Xeriscaping .....	79
2.6 Pengelolaan Buangan ke Lahan .....	82
2.7 Kesimpulan .....	84



<b>BAB III</b>	<b>PERENCANAAN DAN PERANCANGAN BANGUNAN HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN .....</b>	<b>87</b>
3.1	Bumi sebagai Gaia .....	87
3.2	Proporsi Pemanfaatan Lahan .....	92
3.3	Memilih Bentuk Tapak, Bentuk Massa Bangunan, dan Jumlah Massa Bangunan .....	94
3.4	Tata Letak Peruangan (Layout Ruangan) .....	96
3.5	Rancangan Elemen Pelengkap pada Bangunan.....	98
3.6	Material untuk Lanskap dan Bangunan.....	104
3.7	Kesimpulan .....	110
<b>BAB IV</b>	<b>MATERIAL BANGUNAN, PENGHEMATAN ENERGI, DAN KELESTARIAN LINGKUNGAN .....</b>	<b>111</b>
4.1	Pemilihan dan Penyediaan Material .....	111
4.2	Material Alami Lokal Khas Indonesia .....	113
4.3	Tinjauan Aspek Kelebihan dan Kekurangan Material Alami dan Buatan Lokal .....	116
4.4	Material Bekas dan Daur Ulang .....	121
4.5	Kesimpulan .....	129
<b>BAB V</b>	<b>PENERAPAN PRODUKSI ENERGI MANDIRI PADA BANGUNAN .....</b>	<b>131</b>
5.1	Bangunan yang Berlokasi di Pinggir Kota dan Pedesaan .....	131
5.2	Bangunan yang Berlokasi di Perkotaan.....	136
5.3	Menghitung Kebutuhan Panel Surya .....	139
5.4	Kunci Pemanfaatan Energi Terbarukan .....	147
5.5	Kesimpulan .....	148

<b>BAB VI</b>	<b>PENERAPAN PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN .....</b>	<b>151</b>
6.1	Kebutuhan Pencahayaan .....	152
6.2	Teknik-Teknik Pemenuhan Cahaya Alami yang Baik .....	156
6.3	Teknik-Teknik Hemat Cahaya Buatan .....	169
6.4	Kesimpulan .....	177
<b>BAB VII</b>	<b>PENERAPAN PENGUDARAAN ALAMI PADA BANGUNAN .....</b>	<b>179</b>
7.1	Udara di Sekitar Kita .....	179
7.2	Pengondisian Tata Lanskap untuk Ventilasi Alami ...	183
7.3	Tata Letak (Layout) Ruangan untuk Ventilasi Alami .....	185
7.4	Ventilasi Alami pada Bangunan.....	188
7.5	Ventilasi Buatan pada Bangunan/Ruangan .....	195
7.6	Kesimpulan .....	202
<b>BAB VIII</b>	<b>PENERAPAN HEMAT AIR PADA BANGUNAN.....</b>	<b>205</b>
8.1	Sumber-Sumber Air bagi Bangunan .....	206
8.2	Air dalam Proses Persiapan Lahan, Lanskap, dan Proses Pembangunan .....	214
8.3	Pengolahan Air Bekas Pakai .....	217
8.4	Peralatan dalam Bangunan dan Penghematan Air ....	218
8.5	Eksplorasi Air ke dalam Botol .....	224
8.6	Kesimpulan .....	228
<b>BAB IX</b>	<b>PEMANFAATAN VEGETASI UNTUK MENDUKUNG PENGHEMATAN ENERGI .....</b>	<b>231</b>
9.1	Awal Mula Pemanfaatan Tanaman.....	231
9.2	Manfaat Kehadiran Tanaman bagi Bangunan .....	233
9.3	Tanaman Belum Dapat Digunakan untuk Menyerap Kebisingan .....	237

9.4	Tujuan Pemanfaatan Tanaman untuk Memilih Jenis yang Tepat .....	244
9.5	Menghindari Kerugian yang Diakibatkan Tanaman ..	250
9.6	Pemeliharaan Tanaman .....	255
9.7	Urban Farming.....	262
9.8	Kesimpulan .....	263
<b>BAB X</b>	<b>PENGELOLAAN SAMPAH DAN TEKNOLOGI TEPAT GUNA .....</b>	<b>265</b>
10.1	Macam-Macam Sampah .....	265
10.2	Sampah Konstruksi Bangunan .....	267
10.3	Sampah Kegiatan dalam Bangunan .....	269
10.4	Pemanfaatan Material Bekas untuk Teknologi Tepat Guna yang Mendukung .....	279
10.5	Kesimpulan .....	283
<b>BAB XI</b>	<b>BANGUNAN RAMAH ANAK, ORANG TUA, DAN KAUM DIFABEL YANG HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN.....</b>	<b>285</b>
11.1	Prinsip Dasar Bangunan Ramah Anak, Orang Tua, dan Kaum Difabel .....	285
11.2	Bangunan Ramah Anak, Penghematan Energi, dan Kelestarian Lingkungan .....	288
11.3	Bangunan Ramah Orang Tua dan Kaum Difabel.....	293
11.4	Kesimpulan .....	295
<b>BAB XII</b>	<b>BANGUNAN HEMAT ENERGI DAN PEDULI LINGKUNGAN DI NEGARA TETANGGA .....</b>	<b>297</b>
12.1	Iklim Tropis Lembab .....	298
12.2	Hemat Energi dan Peduli Lingkungan dari Rumah Tinggal .....	300
12.3	Perkampungan Naga di Tasikmalaya, Jawa Barat .....	302
12.4	Rumah Ekologis Heinz Frick .....	306

12.5	Rumah Tinggal Bebas Ketergantungan Energi, Pathumtani, Thailand .....	310
12.6	Kampus Hemat Energi, Building Construction Authority Campus, Singapura .....	314
12.7	Mal Hemat Energi, City Square, Little India, Singapura .....	319
12.8	Kantor Hemat Energi, Graha Pangeran dan Graha Wonokoyo, Surabaya, Indonesia .....	322
12.9	Kantor Manajemen Pusat PT Dahana, Subang, Jawa Barat .....	323
12.10	Hong Kong Heritage Discovery Centre .....	324
12.11	Kesimpulan .....	327
	<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>329</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>333</b>
	<b>SARAN BACAAN LANJUTAN .....</b>	<b>345</b>
	<b>INDEKS .....</b>	<b>347</b>
	<b>TENTANG PENULIS .....</b>	<b>353</b>

<b>Gambar 12.16</b>	Mal City Square dengan taman di area depannya.....	321
<b>Gambar 12.17</b>	Graha Pangeran (a) dan Graha Wonokoyo (b) di Surabaya.....	322
<b>Gambar 12.18</b>	Salah satu dari empat kubah ( <i>dome</i> ) yang berselimutkan atap hijau di kantor PT Dahana, Subang, Jawa Barat .....	324
<b>Gambar 12.19</b>	Dua <i>champion tree</i> yang tetap dipertahankan (a). Pohon tumbuh lebih baik ketika salah satu dinding yang melingkupinya dirobohkan dan bawah pohon dimanfaatkan sebagai area duduk warga sekitar (b) ....	325
<b>Gambar 12.20</b>	Penempatan kaca di antara kolom-kolom untuk melindungi objek di dalam bangunan tidak merusak fasad asli bangunan.....	326
<b>Gambar 12.21</b>	Penempatan bangunan penghubung dengan material utama kaca (a), termasuk penggunaan atap kaca pada selasar (b) sehingga menghemat energi. Lampu berarmatur langsung (b).....	327

## BAB I

### ENERGI

Revolusi industri yang terjadi di Inggris pada dua kali periode, yaitu abad ke-18 dan 19, telah membawa begitu banyak dampak positif, di antaranya perkembangan teknologi yang kian pesat. Penciptaan, produksi massal, dan kemudahan akses akan peralatan yang mempermudah pekerjaan manusia telah membuat kehidupan menjadi semakin praktis. Sayangnya, ketergantungan manusia pada peralatan bantu ini menjadi sedemikian tinggi sehingga kini jamak dijumpai kegiatan yang, walaupun, sangat sederhana, seperti mengupas sayur-mayur, tetapi telah menggunakan pisau elektrik. Hal ini mengakibatkan ketergantungan manusia akan energi yang menjadi sumber pengoperasian peralatan bantu tersebut juga sangat tinggi. Salah-salah, tanpa pemikiran yang bijaksana, kita telah mengeksplorasi dan mengeksploitasi energi secara berlebihan sehingga kini terjadi krisis energi yang melanda dunia.

Untuk mencegah krisis energi yang kian parah, penting kiranya ditempuh beberapa langkah pencegahan dan penanggulangan. Namun, sebelum melangkah lebih jauh, ada baiknya kita pahami terlebih dahulu mengenai energi dan hal-hal yang terkait dengannya. Bab ini memaparkan beberapa sumber energi yang terdapat di muka bumi, kemudian mengarahkan pembaca untuk memahami pentingnya beralih dari sumber energi tak terbarukan ke sumber energi terbarukan. Beberapa jenis sumber energi terbarukan yang dapat menjadi pilihan akan dipaparkan secara lengkap.



## 1.1 ENERGI

Dalam *Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)*, energi disinonimkan dengan tenaga dan dijabarkan sebagai 'kemampuan untuk melakukan kerja'. Kata *energi* diambil dari kata dalam bahasa Inggris *energy* yang berasal dari bahasa Latin *energia*. Dalam bahasa Yunani kuno *energeia* berarti 'kegiatan' atau *energos* yang berarti 'giat atau aktif', kata dasarnya adalah *ergon* yang berarti 'kerja' ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)). Melalui berbagai kata asal dan definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa apa yang disinonimkan atau diterjemahkan dalam *KBBI* dapat menjadi rujukan dalam buku ini. Ketiadaan energi akan menyebabkan suatu benda, baik hidup maupun mati, tidak memiliki kekuatan untuk bergerak atau bekerja. Pada makhluk hidup, energi diperoleh dari asupan atau makanan dan minuman. Lebih spesifik, pada manusia, energi diperoleh tidak saja dari makanan dan minuman, namun juga dari latihan atau olahraga, atau kebiasaan-kebiasaan olah fisik lainnya. Sementara itu, pada benda mati, energi diperoleh dari zat atau bahan yang ditambahkan atau disuntikkan pada benda tersebut.

Energi dibedakan menjadi energi potensial (tersimpan) dan energi kinetik (gerak). Selanjutnya dikenal Hukum Kekekalan Energi atau disebut juga Hukum Termodinamika I yang menyatakan bahwa "Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain (konversi energi), tetapi tidak bisa diciptakan ataupun dimusnahkan." Sebagai contoh, asupan yang kita konsumsi adalah energi potensial. Energi ini berubah bentuk menjadi energi kinetik secara perlahan ketika manusia tidak melakukan kegiatan yang berarti, seperti tidur atau duduk, namun berubah menjadi energi kinetik secara cepat (segera) ketika manusia melakukan kegiatan berat, seperti berlari menaiki tangga atau mengendarai sepeda.

Energi dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, seperti energi kimia, energi cahaya, energi panas, energi listrik, dan lain sebagainya ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Ketika dalam keadaan tersimpan, kesemuanya itu merupakan energi potensial, dan segera berubah menjadi energi kinetik manakala digunakan untuk melakukan kerja. Energi dapat dihitung menggunakan beberapa satuan, di antaranya adalah joule (J), kalori (kal), elektronvolt (eV), kilowatt-jam (kWh), atau *British thermal unit* (Btu). Di

antara satuan tersebut joule merupakan Sistem Satuan Internasional (SI). Joule yang disimbolkan dengan huruf J (diambil dari James P. Joule, penemu kalor sebagai suatu bentuk energi) didefinisikan sebagai besarnya energi yang dibutuhkan untuk memberi gaya sebesar satu newton sejauh satu meter. Satu joule sama dengan 1 newton meter (simbol: Nm) atau  $\text{kgm}^2/\text{det}^2$ . Adapun satuan turunannya adalah erg atau  $\text{gcm}^2/\text{det}^2$  atau dikenal juga dengan dyne.cm. Satu joule sama dengan 107 erg ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)).

Selain itu, satu joule juga merupakan energi absolut terkecil yang dibutuhkan (pada permukaan bumi) untuk mengangkat suatu benda seberat 1 kg setinggi 10 cm ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Sementara itu, kalori adalah satuan panas untuk menaikkan suhu air 1 derajat celsius. Satu kalori setara dengan 4,2 joule atau 1 joule setara dengan 0,239 kal (kalori). Satu Btu didefinisikan sebagai jumlah panas yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu 1 pound (sekitar 454 gram) air sebanyak 1 derajat fahrenheit. Untuk mencairkan 1 pound es dibutuhkan 143. satu J = 0,001 Btu ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)).

Kilowatt-jam (dengan notasi kWh/kilowatt-hour) juga sebuah satuan energi. Energi yang dikirim oleh peralatan listrik diukur dan diberi beban pembiayaan menggunakan satuan kWh. Kita menggunakan perhitungan ini pada tagihan penggunaan listrik sehingga satuan inilah yang lebih banyak dikenal dalam kehidupan sehari-hari. Satu joule setara dengan  $2,7778 \times 10^{-7}$  kWh. kWh adalah hasil tenaga dalam kilowatt dikali waktu dalam jam (h), bukan kw per jam (h). Selanjutnya dalam buku ini, penggunaan satuan watt, kw, dan kWh akan lebih banyak digunakan karena pokok bahasan selanjutnya juga lebih terkait dengan penggunaan energi listrik pada bangunan dan lingkungan binaan. Beberapa contoh berikut disajikan untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai cara penghitungan energi listrik.

1. Sebuah oven listrik menggunakan tenaga 1.000 watt (1 kilowatt) dan oven tersebut dinyalakan selama satu jam untuk memanggang kue. Total energi yang digunakan adalah 1 kilowatt-jam/kWh (= 3.600 kilojoule).



2. Sebuah lampu 60 watt yang dinyalakan selama satu jam ternyata membutuhkan 0,06 kilowatt jam (60/1.000). Bola lampu tersebut apabila digunakan selama seribu jam akan membutuhkan 60 kilowatt-jam ( $0,06 \times 1.000 = 60 \text{ kWh}$ ).
3. Sebuah setrika listrik berdaya 300 watt dinyalakan selama satu jam ternyata membutuhkan 0,3 kilowatt-jam (300/1.000). Maka, ketika dinyalakan selama 30 hari dengan lama 1 jam per harinya (berarti 30 jam), energi yang digunakan adalah

$$\left(\frac{nW}{1.000 W}\right) \times m \text{ jam} = \text{kWh} \quad (1)$$

$n$  adalah daya/*wattage* peralatan (dalam watt);  $m$  lama pemakaian (dalam jam atau *hour*); kWh adalah beban total dalam kilowatt-jam (kWh).

Dengan memahami cara-cara penghitungan kebutuhan energi listrik ini, seyogianya kita menjadi lebih paham bagaimana cara melakukan penghematan listrik. Dari persamaan (1) dapat dicermati bahwa hal yang memengaruhi jumlah energi listrik yang digunakan adalah daya (*wattage*) peralatan yang digunakan, lama waktu, dan rutinitas penggunaannya. Menggunakan peralatan yang memiliki daya rendah dan durasi penggunaan yang dikurangi akan mengakibatkan berkurangnya penggunaan energi listrik. Salah satu cara untuk mengurangi penggunaan listrik secara bersama-sama dan serentak dilaksanakan setiap tanggal 31 Maret, yaitu melalui program "*Earth Hour*". Program ini secara rutin dilaksanakan setiap tahun oleh pemerintah Indonesia dan lembaga swadaya masyarakat (LSM). "*Earth Hour*" adalah program untuk mengurangi durasi penggunaan listrik melalui pemadaman lampu dan peralatan listrik lainnya pada beban puncak, yaitu pada pukul 20.30 sampai dengan 21.30 WIB. Bila setiap bangunan dan lingkungan binaan berpartisipasi dalam gerakan "*Earth Hour*", penghematan yang kecil dan sebentar ini akan tetap berdampak besar terhadap penghematan energi secara umum. Kegiatan ini semakin terasa manfaatnya bila tidak hanya dilaksanakan sekali dalam satu tahun, namun, misalnya, secara rutin setiap akhir pekan atau setiap beberapa hari sekali.

## 1.2 SUMBER ENERGI TAK TERBARUKAN

Selain dibedakan menjadi energi potensial dan energi kinetik, energi dapat dibedakan menjadi sumber energi terbarukan (*renewable energy*) dan sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy*) menurut sumber terjadinya. Penyebutan tak terbarukan sebenarnya tidak benar-benar demikian. Namun, karena dibutuhkan waktu yang sangat lama (berjuta-juta tahun) untuk berputarnya siklus energi sampai pada titik awal, energi itu disebut sebagai yang tak terbarukan atau tepatnya yang tak terbarukan dengan segera. Pada beberapa waktu lalu istilah *renewable energy* diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia sebagai *energi alternatif*. Penerjemahan ini dianggap kurang tepat karena istilah *alternatif* merujuk pada sesuatu yang dipilih kemudian. Artinya, selama alternatif pertama (yaitu, energi yang selama ini digunakan atau energi tak terbarukan) masih dapat digunakan, alternatif selanjutnya belum perlu digunakan. Hal ini membuat masyarakat Indonesia tidak pernah berpikir untuk menggunakan alternatif selanjutnya. Oleh karenanya, istilah *energi alternatif* kemudian disarankan untuk tidak digunakan dan istilah *energi terbarukan* lah yang terus dimasyarakatkan.

Sumber energi tak terbarukan adalah sumber energi yang berasal dari fosil makhluk hidup yang hidup berjuta tahun lalu ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Fosil ini terbenam dalam tanah, tertimbun lumpur, pasir, dan bebatuan dalam jangka waktu jutaan tahun sehingga posisinya semakin dalam dan terus mengalami peningkatan tekanan karena lapisan yang menutupnya juga semakin tebal. Tekanan yang besar menyebabkan zat cair dan zat gas yang terkandung dalam fosil terperas dan keluar dalam bentuk minyak dan gas. Sementara bagian padat yang tidak terperas menjadi batu bara. Hasil pengolahan energi fosil terdiri atas energi minyak, gas alam, dan batu bara. Energi listrik yang disalurkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) ke bangunan-bangunan umumnya dihasilkan dari bahan bakar minyak bumi. Dalam skala kecil, ada pula yang dihasilkan dari gas alam, uap, dan air.



### 1.2.1 Energi Nuklir

Energi nuklir disebut juga energi uranium karena berasal dari pemecahan atau penggabungan atom, umumnya isotop uranium<sup>235</sup> yang lebih mudah dipecah. Beberapa ahli di banyak negara maju berpendapat bahwa energi nuklir adalah energi yang sangat efektif karena untuk menghasilkan tenaga yang sangat besar hanya dibutuhkan isotop uranium yang kecil. Hal ini tentu berbeda dengan energi minyak atau batu bara yang dibutuhkan dalam jumlah yang cukup besar untuk menggerakkan suatu mesin. Karena minimnya kebutuhan uranium untuk membangkitkan listrik yang demikian besar, sebagian orang menganggap bahwa energi nuklir termasuk dalam energi terbarukan, yang diartikan sebagai energi yang sumbernya tidak cepat habis. Namun, energi nuklir sebenarnya termasuk dalam jenis energi tak terbarukan karena keberadaan uranium di alam terbatas.

Sekalipun merupakan sumber energi yang paling efisien, apabila pada proses reaksi pemecahan dan penggabungannya terjadi ketidaksempurnaan, seperti kebocoran, ledakan yang hebat bisa terjadi. Ledakan ini dapat membahayakan manusia di sekitarnya, seperti yang terjadi pada reaktor nuklir Chernobyl (dulu Uni Soviet), Bhopal (India), dan Fukushima (Jepang). Para penderita mengalami cacat dan ketidaksempurnaan organ tubuh. Hal ini tidak saja menyerang mereka yang berada di sekitar reaktor, namun dimungkinkan juga menyerang keturunan selanjutnya (anak-cucu). Reaktor nuklir adalah suatu tempat atau perangkat yang digunakan untuk membuat, mengatur, dan menjaga kesinambungan reaksi nuklir berantai pada laju yang tetap ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Reaktor nuklir juga merupakan pusat pembangkit listrik energi nuklir.

Aspek buruk lainnya dari penggunaan energi nuklir adalah munculnya sampah radioaktif dari reaksi penggabungan atau pemisahan isotop yang dapat mencemari lingkungan. Dua hal mendasar inilah yang menjadi alasan utama penolakan masyarakat Indonesia terhadap penggunaan energi nuklir. Usaha-usaha pembangunan pembangkit listrik energi nuklir di Indonesia telah melalui perdebatan yang amat panjang di tingkat Dewan Perwakilan Rakyat (DPR). Sebagian besar anggota komisi VII DPR RI yang membidangi Energi, Sumber Daya Mineral, dan Lingkungan

Hidup, termasuk Menteri Negara Riset dan Teknologi kala itu (periode 2004–2009) mendukung pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Jepara. Pertimbangan utamanya tentu karena efektivitas penggunaan nuklir sebagai pembangkit listrik dalam keadaan krisis listrik nasional. Di antara yang mendukung ada pula beberapa anggota komisi yang menolak. Perjuangan gigih mereka yang menolak akhirnya membuahkan hasil karena PLTN ini urung dibangun. Beberapa alasan yang dikemukakan oleh anggota Komisi VII yang menolak adalah sebagai berikut (Keraf, 2010).

1. Hampir seluruh wilayah Indonesia, termasuk Jepara, adalah daerah rawan gempa (*the ring of fire*).
2. Tidak meragukan kemampuan penguasaan teknologi nuklir oleh putra-putri Indonesia, namun meragukan kedisiplinan kita dalam menjaga dan merawat teknologi tersebut.
3. Indonesia tidak memiliki kekuatan militer yang memadai untuk mengamankan objek yang sangat vital seperti PLTN.
4. Rakyat setempat menolak keberadaan PLTN, dimungkinkan karena kurangnya pemahaman dan kekhawatiran akan gangguan yang timbul.

Atas gagalnya usaha pembangunan PLTN di tingkat DPR, sampai kini Indonesia belum memiliki PLTN. Mengingat alasan-alasan penolakan yang cukup masuk akal, selanjutnya usaha-usaha untuk mengatasi terjadinya krisis listrik seyogianya dilakukan dengan sumber energi terbarukan yang lebih aman dan bahan bakunya melimpah di Indonesia.

### 1.2.2 Minyak Bumi

Minyak atau yang dikenal sebagai minyak bumi merupakan minyak mentah yang harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengolahan minyak bumi mentah akan menghasilkan minyak disel, minyak solar, minyak tanah, minyak bensin, gas, dan lain-lain. Minyak olahan inilah yang kemudian menjadi sumber energi untuk mengoperasikan berbagai macam peralatan guna memudahkan hidup manusia. Proses pengolahan minyak mentah menghasilkan sisa berupa aspal yang



selanjutnya dimanfaatkan untuk melapisi jalan agar menjadi halus. Dalam kehidupan sehari-hari di Indonesia, bahan bakar yang populer adalah minyak tanah (*kerosene*) dan minyak bensin (*gasoline*). Minyak tanah digunakan ibu-ibu untuk menghidupkan kompor di dapur, selain dengan gas. Sementara bensin dan minyak disel digunakan untuk menjalankan kendaraan bermotor dan mesin-mesin industri. Bahan bakar minyak untuk kendaraan bermotor juga dibedakan menjadi berbagai jenis. Utamanya dikelompokkan dalam *leaded petrol* (mengandung timbel/Pb) dan *unleaded* (tanpa timbel). Dari dua kelompok besar ini, bahan bakar minyak masih dibedakan lagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan bilangan oktan yang dikandungnya.

Bilangan oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)). Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Istilah *oktan* berasal dari oktana (C<sub>8</sub>) karena dari seluruh molekul penyusun bensin, oktana memiliki sifat kompresi yang paling bagus. Oktana dapat dikompresi sampai volume kecil tanpa mengalami pembakaran spontan, tidak seperti yang terjadi pada heptana, misalnya, yang dapat terbakar spontan, meskipun baru ditekan sedikit.

Pengangkaan oktan dibedakan menjadi dua kategori ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)), yaitu *research octane number* (RON) dan *motor octane number* (MON). RON adalah hasil simulasi kinerja asupan bahan bakar ke mesin saat mesin dioperasikan dalam kondisi standar, sedangkan MON menunjukkan kinerja bahan bakar saat mesin dioperasikan dalam kondisi yang lebih berat. Angka oktan MON dapat lebih rendah 10 poin dari angka oktan RON. Pada stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) di Indonesia angka oktan yang digunakan adalah RON. Pemeringkatan bahan bakar minyak sesuai dengan kandungan oktannya adalah sebagai berikut:

1. bilangan oktan 100: murni iso-oktana
2. bilangan oktan 98 : campuran 98% iso-oktana dan 2% n-heptana

3. bilangan oktan 96 : campuran 96% iso-oktana dan 4% n-heptana
4. bilangan oktan 94 : campuran 94% iso-oktana dan 6% n-heptana
5. bilangan oktan 92 : campuran 92% iso-oktana dan 8% n-heptana
6. bilangan oktan 90 : campuran 90% iso-oktana dan 10% n-heptana
7. bilangan oktan 88 : campuran 88% iso-oktana dan 12% n-heptana
8. dan seterusnya.

Untuk menjalankan kendaraan bermotor, peralatan industri, dan pembangkit listrik sederhana yang digunakan oleh bangunan (*generator set*, disingkat genset), masyarakat Indonesia dapat memenuhi kebutuhan bahan bakarnya di SPBU. Ada banyak pilihan SPBU di Indonesia, baik yang dalam negeri (Pertamina) maupun yang dari negara lain (Shell, Total, dan Petronas). Bahan bakar minyak (BBM) yang dipasarkan di Indonesia dan diproduksi Pertamina dibedakan menjadi (<http://www.panduanolimesinbbm.com>):

1. Premium, dengan spesifikasi: menggunakan tambahan pewarna *dye*, angka RON 88, menggunakan timbel (Pb) untuk menambah bilangan oktan, dan menghasilkan gas buang NO<sub>x</sub> dan CO<sub>x</sub> dalam jumlah banyak.
2. Pertamax, dengan spesifikasi: diperuntukkan bagi kendaraan yang menggunakan bahan bakar beroktan tinggi, angka RON 92, tanpa timbel (Pb), menggunakan etanol untuk menambah bilangan oktan, dan menghasilkan gas buang NO<sub>x</sub> dan CO<sub>x</sub> dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan bahan bakar minyak yang lain. Pertamax pertama kali diluncurkan pada tahun 1999 sebagai pengganti Premix 98 karena Premix mengandung unsur yang berbahaya bagi lingkungan.
3. Pertamax Plus, dengan spesifikasi: diperuntukkan bagi kendaraan yang berteknologi tinggi dan ramah lingkungan, tidak menggunakan timbel (Pb), angka RON 96, menggunakan toluena untuk menambah bilangan oktan, dan menghasilkan gas buang NO<sub>x</sub> dan CO<sub>x</sub> dalam jumlah yang paling sedikit dibandingkan bahan bakar minyak lainnya.

Selain bahan bakar minyak yang diproduksi oleh Pertamina, saat ini di Indonesia juga dipasarkan bahan bakar minyak produksi negara lain, seperti Diesel, Super (setara Pertamina), dan Super Extra (setara Pertamina Plus) dari Shell (perusahaan dari Belanda); Performance 95, Performance 92, dan Diesel dari Total (perusahaan dari Prancis); Primax 95, Primax 92, dan Diesel dari Petronas (perusahaan dari Malaysia). Namun demikian, sampai saat ini SPBU asing tersebut baru bisa dijumpai di kota-kota besar, seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan.

Selain digunakan sebagai bahan dasar untuk memproduksi bahan bakar untuk kendaraan bermotor, umumnya minyak bumi juga digunakan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik di dunia, termasuk di Indonesia. Hal ini menyebabkan eksplorasi bahan bakar tak terbarukan ini semakin hebat. Karena konsumsi dan produksi (proses terjadinya fosil) sangat tidak seimbang, terjadilah krisis energi. Dampak negatif lainnya yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan bakar minyak dari fosil adalah pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang yang dihasilkan dari perubahan energi potensial menjadi energi gerak tersebut.

Zat-zat pencemar akibat pembakaran bahan bakar minyak adalah sebagai berikut ([www.chem-is-try.org](http://www.chem-is-try.org) dan [id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)):

#### 1. Karbon Monoksida (CO)

Asap kendaraan bermotor merupakan sumber utama gas karbon monoksida yang mengganggu konsentrasi udara bersih. Hal ini utamanya terjadi di daerah perkotaan dengan begitu banyak kendaraan bermotor yang digunakan. Bahkan, seiring dengan kemudahan untuk memperoleh kendaraan bermotor (uang muka dan kredit ringan), kendaraan bermotor pun kini telah merambah pedesaan. Karbon monoksida sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, terutama bagi wanita hamil dan anak-anak, karena mengakibatkan kurangnya berat janin yang dapat memicu kematian janin dan kerusakan otak anak-anak. Kadar karbon monoksida dalam udara dapat diturunkan dengan pengendalian emisi otomatis seperti pengubah katalis yang mengubah sebagian besar karbon monoksida menjadi karbon dioksida. Namun demikian, pengurangan penggunaan bahan bakar minyak melalui

pengurangan jumlah kendaraan bermotor akan memberikan hasil yang lebih nyata daripada sekadar menggunakan katalis.

#### 2. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen oksida terbentuk ketika panas pembakaran mendorong bersatunya oksigen dan nitrogen yang terdapat di udara. Gas nitrogen oksida bereaksi di atmosfer membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus sehingga mudah terhirup manusia dan akan menyebabkan kerusakan paru-paru. Jika bersenyawa dengan air, baik air di paru-paru maupun uap air di awan, partikel-partikel nitrat ini akan membentuk asam. Zat asam pada paru-paru akan menjadi racun yang merusak paru-paru. Di udara, zat-zat oksida ini bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dan zat-zat hidrokarbon lain dan membentuk kabut atau *smog* (kabut berwarna coklat kemerahan). *Smog* menjadi kabut yang menyelimuti kota-kota besar di dunia yang memiliki kepadatan transportasi yang sangat tinggi dan mengaburkan pandangan pengendara dan penerbangan rendah (helikopter atau pesawat latih kecil).

#### 3. Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>)

Sulfur dioksida adalah gas berbau tajam, tetapi tak berwarna, yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur, terutama batu bara. Manusia yang menghirup sulfur dioksida dapat terkena serangan asma. Gas sulfur dioksida bereaksi di atmosfer membentuk partikel-partikel halus dan zat asam.

#### 4. Benda Partikulat (*particulate matter*)

Benda partikulat sering disebut debu halus, asap, atau jelaga. Dibandingkan emisi berbentuk gas, benda-benda partikulat ini merupakan pencemar udara yang paling kentara karena diameternya cukup besar. Benda partikulat dapat dikelompokkan dalam beberapa golongan berdasarkan diameternya, tetapi yang paling berbahaya adalah yang memiliki diameter di bawah 2,5 µm. Begitu halusnya butiran-butiran ini sehingga dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Sebagian besar partikel halus ini bersenyawa dengan polutan lain, terutama



sulfur dioksida dan nitrogen oksida, dan secara kimiawi membentuk zat-zat nitrat dan sulfat.

#### 5. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon adalah senyawa organik yang mudah menguap sehingga disebut *volatile organic compounds* (VOC). Hidrokarbon juga merupakan gas organik reaktif (*reactive organic gases*, ROG). Hidrokarbon merupakan uap bensin yang tidak terbakar dan produk samping dari pembakaran tak sempurna. Apabila terhirup, hidrokarbon dapat menyebabkan leukemia, kanker, atau penyakit-penyakit serius lain.

#### 6. Timah Hitam/Timbel (Pb)

Timbel adalah logam berat berwarna kelabu keperakan yang amat beracun dan berbahaya bagi anak-anak karena mampu merusak otak, menghambat pertumbuhan, mengurangi kemampuan untuk mendengar dan memahami bahasa, dan menghilangkan konsentrasi. Sumber utama emisi Pb adalah bahan bakar bertimbel yang sering digunakan oleh kendaraan bermotor di Indonesia.

#### 7. Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Gas karbon dioksida terbentuk ketika bahan bakar yang kaya kandungan karbon, seperti minyak dan batu bara, terbakar. Karbon dioksida adalah zat pencemar yang tidak berwarna dan tak berbau. Bersama karbon monoksida (CO) dan metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida merupakan gas rumah kaca. Gas-gas rumah kaca akan membentuk lapisan gas rumah kaca yang menyebabkan tidak seluruh bagian dari sinar matahari yang diterima bumi dapat dipantulkan kembali. Spektrum yang mengandung kalor tidak dapat menembus lapisan gas rumah kaca sehingga kalor tetap tertahan di bumi. Karena panas tertahan dan tidak bisa keluar, seperti pada rumah-rumah kaca untuk pembiakan/pembibitan tanaman, terjadilah efek rumah kaca.

### 1.2.3 Batu Bara

Energi batu bara berasal dari fosil yang tertimbun berjuta tahun yang lalu ketika tekanan meterial di atas fosil mampu memeras kandungan gas dan zat cair dari fosil. Padatan sisa yang tidak terperas ini kemudian menjadi batu bara. Berdasarkan persentase kandungan karbonnya, batu bara dibedakan menjadi antrasit (*anthracite*), bituminus (*bituminous*), dan lignit (*lignite*) (id.wikipedia.org). Batu bara digunakan sebagai bahan bakar bagi kereta api dan mesin industri yang besar. Namun, kini pemanfaatannya sudah mulai berkurang karena tergantikan oleh bahan bakar minyak bumi. Tambang batu bara besar di Indonesia terletak di Bukit Asam, Pulau Sumatra.

### 1.2.4 Gas Alam

Gas alam adalah energi yang dihasilkan dari tertimbunnya fosil yang terperas karena tekanan material di atasnya dan gas yang terkandung di dalamnya tertekan ke luar. Gas alam keluar dari permukaan bumi melalui celah atau retakan alam. Gas alam mengandung metana (CH<sub>4</sub>) sebagai unsur utama. Pada suhu tertentu yang cukup rendah, gas alam akan mencair sehingga dapat disimpan dalam bentuk cair. Pemanfaatan gas alam yang umum dijumpai adalah untuk kompor gas. Bahan bakar untuk keperluan kompor di dapur ini dikenal dua macam, yaitu

1. *liquid natural gas* (LNG) yang berasal dari gas alam dan umumnya disalurkan pemerintah ke bangunan-bangunan melalui pipa saluran. Pengguna membayar tagihan penggunaannya kemudian.
2. *liquid petroleum gas* (LPG) dialihbahasakan ke bahasa Indonesia menjadi elpiji, merupakan gas yang berasal dari pengolahan minyak bumi dan disalurkan oleh pemerintah dalam tabung-tabung gas yang dibayar/dibeli dimuka oleh penggunaanya.

## 1.3 KRISIS ENERGI TAK TERBARUKAN

Krisis energi adalah masa ketika terjadi kekurangan dalam persediaan sumber daya energi, yaitu ketika kebutuhan akan energi meningkat, namun persediaan tidak mencukupi. Krisis energi tak terbarukan terjadi

karena 87,7 % kebutuhan energi di dunia dipenuhi oleh energi yang berasal dari sumber tak terbarukan (*BP Statistical Review of World Energy*, 2005). Konsumen terbesar dari energi ini adalah negara-negara industri maju, seperti Amerika Serikat, Jepang, Jerman, Kanada, dan Korea Selatan. Federasi Rusia dan Inggris menjadikan gas alam sebagai pemasok terbesar kebutuhan energi di negerinya, sementara Cina dan India menggunakan batu bara sebagai penopang utama pemenuhan kebutuhan energinya. Di Prancis, nuklir justru menjadi sumber energi utama dibandingkan penggunaan minyak, gas, ataupun batubara (TABEL 1.1).

TABEL 1.1 Proporsi sumber energi pada negara-negara di dunia  
(*BP Statistical Review of World Energy*, 2005)

No.	Negara	Minyak	Gas Alam	Batu Bara	Energi Nuklir	Energi Air	Total	%
1.	USA	937,6	582,0	564,3	187,9	59,8	2331,6	22,8
2.	Cina	308,6	35,1	956,9	11,3	74,2	1386,2	13,6
3.	Federasi Rusia	128,5	361,8	105,9	32,4	40,0	668,6	6,5
4.	Jepang	241,5	64,9	120,8	64,8	22,6	514,6	5,0
5.	India	119,3	28,9	204,8	3,8	19,0	375,8	3,7
6.	Jerman	123,6	77,3	85,7	37,8	6,1	330,4	3,2
7.	Kanada	99,6	80,5	30,5	20,5	76,4	307,5	3,0
8.	Prancis	94,0	40,2	12,5	101,4	14,8	262,9	2,6
9.	Inggris	80,8	88,2	38,1	18,1	1,7	226,9	2,2
10.	Korea Selatan	104,8	28,4	53,1	29,6	1,3	217,2	2,1
...								
20.	Indonesia	54,7	30,3	22,2	-	2,5	109,6	1,1

Krisis energi dunia terjadi karena kesadaran penghematan energi baru digiatkan beberapa tahun terakhir, sementara penggunaan energi secara berlebihan terhadap sumber energi tak terbarukan telah berlangsung selama ribuan tahun. Krisis energi juga terjadi karena konsumsi energi lebih tinggi daripada produksi energi. Sampai dengan tahun 2004,

penduduk bumi telah mengonsumsi 1/15 dari keseluruhan energi yang berasal dari fosil, padahal usia bumi dimungkinkan masih berlangsung lama dan jumlah energi ini tidak dapat diperbarui lagi. Penggunaan 1/15 ini baru berlangsung dua abad terakhir (saat revolusi industri) seiring dengan perkembangan dunia industri dan teknologi yang semakin pesat (*BP Statistical Review of World Energy*, 2005). Apabila kita berpikir bahwa kita masih memiliki cadangan energi 14/15 bagian dan terus menggunakan sumber tak terbarukan ini, dunia akan benar-benar berada dalam keadaan krisis energi. Oleh karenanya, 14/15 bagian ini seyogianya tidak dilihat sebagai proporsi yang besar sebab 1/15 bagian pertama telah dikonsumsi hanya dalam 200 tahun dari keseluruhan usia kehidupan di bumi yang telah berlangsung puluhan ribu tahun. Kini saatnya beralih ke energi terbarukan.

## 1.4 SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Kesadaran manusia akan terjadinya krisis energi, sekalipun datang amat terlambat, telah mengarahkan manusia untuk mencari sumber energi lain dan alam di sekitarnya. Pencarian ini tertuju pada sumber energi yang memerlukan waktu pembaruan lebih singkat dan saat ini tersedia amat melimpah. Sumber-sumber energi pilihan ini disebut sumber energi terbarukan. Berbagai sumber energi terbarukan akan dipaparkan secara terperinci pada bagian ini.

### 1.4.1 Energi Surya (Matahari)

Matahari adalah bola yang berpijar dengan senyawa penyusun utama berupa gas hidrogen (74%) dan helium (25%) yang terionisasi dan beberapa zat penyusun lain ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Cahaya matahari berasal dari hasil reaksi fusi hidrogen menjadi helium. Jarak antara matahari dan bumi adalah 150 juta km. Sekalipun jaraknya sedemikian jauh secara perhitungan awam, matahari adalah sumber energi terbesar bagi berlangsungnya kehidupan di bumi. Sementara ini, orang menempatkan matahari sebagai sumber energi yang tidak akan pernah habis. Hal ini ada benarnya, meskipun tidak sepenuhnya tepat. Matahari tergolong bintang tipe G, V, dengan ciri memiliki suhu permukaan sekitar 6.000 K



(id.wikipedia.org). Sejak mulai terbentuk hingga saat ini, matahari diperkirakan telah berusia 4,6 miliar tahun dan diperkirakan masih akan berusia sekitar 7 miliar tahun lagi sebelum hidrogen pada intinya habis. Namun demikian, mengingat habisnya inti hidrogen ini membutuhkan waktu yang sangat panjang, dapatlah disebutkan bahwa untuk saat ini matahari adalah sumber energi terbesar yang tidak akan habis.

Para ahli menyadari bahwa panas dan cahaya yang dipancarkan oleh matahari dapat dijadikan sumber energi untuk mempermudah kehidupan manusia. Pemanfaatan energi matahari yang paling sederhana adalah dengan cara langsung, yaitu panasnya digunakan untuk mengeringkan sesuatu, seperti menjemur pakaian, bahan makanan (ikan dan kerupuk), dan mengeringkan air laut dalam proses pembuatan garam. Pemanfaatan energi surya yang amat melimpah akan semakin efektif ketika pancaran energi itu tidak hanya digunakan secara langsung, namun juga disimpan untuk digunakan pada saat matahari tidak bersinar, termasuk bila memungkinkan, digunakan sebagai sumber energi pada peralatan-peralatan yang bertujuan mempermudah hidup manusia. Untuk dapat melakukan hal ini, diperlukan suatu materi atau bahan yang mampu menyerap panas dan cahaya matahari (*photovoltaic effect*), yang selanjutnya terhubung dengan peralatan penyimpan. Prinsip inilah yang mendasari terciptanya sel surya sederhana oleh ilmuwan Prancis Edmond Becquerel. Selanjutnya temuan ini disempurnakan menjadi sel surya yang sangat efisien oleh Daryl Chapin, Calvin Souther Fuller, dan Gerald Pearson pada tahun 1954 (id.wikipedia.org).

Sel-sel surya ini kemudian disusun dalam modul-modul menurut ukuran tertentu yang berbentuk lembaran atau panel sehingga dikenal pula dengan nama panel surya atau *solar panel*. Adapun prinsip kerja pada penggunaan panel surya adalah sebagai berikut: panel menyerap panas matahari yang datang bersama cahaya, mengubahnya menjadi energi listrik, dan mengalirkan energi listrik tersebut pada alat penyimpan (aki atau baterai). Selanjutnya, energi yang tersimpan dalam aki dapat digunakan untuk menyalakan peralatan listrik berarus searah (*direct current/DC*). Bila hendak digunakan untuk menyalakan peralatan berarus bolak-balik (*alternating current/AC*), di antara aki dan peralatan perlu dipasang

*inverter* atau alat pengubah arus. Paparan terperinci mengenai panel surya akan disampaikan pada Bab V.

#### 1.4.2 Energi Air

Selain matahari, para ilmuwan juga menemukan bahwa air adalah zat yang juga tersedia melimpah di permukaan bumi (dua pertiga permukaan bumi diliputi air). Air dapat menjadi sumber energi. Sumber air alami, seperti sungai dan laut, dapat dimanfaatkan dengan beberapa cara untuk menjadi sumber energi. Demikian pula waduk yang merupakan kolam raksasa buatan juga merupakan cara lain pemanfaatan air sebagai sumber energi. Prinsip utama yang diterapkan adalah memanfaatkan aliran/pergerakan air untuk menghasilkan energi. Pemanfaatan aliran air sungai untuk membangkitkan tenaga listrik perlu dibantu alat pemutar yang disebut turbin, kincir, atau di Indonesia dikenal sebagai kincir air. Kincir air dapat dibuat dari bambu, kayu, atau baja. Adapun macam-macam cara kerja kincir air dipaparkan sebagai berikut (www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air).

##### 1. Kincir air *over shot*

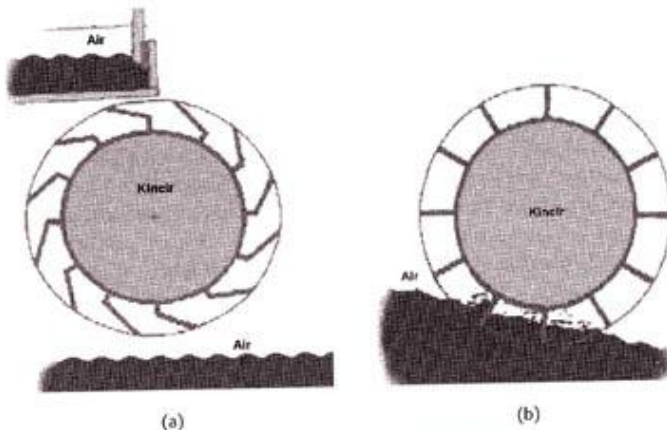
Kincir air *over shot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke sudu-sudu sisi bagian atas, dan karena gaya berat air, roda kincir berputar (Gambar 1.1a). Kincir air *over shot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

Kelebihan kincir air *over shot* adalah sebagai berikut.

- a. Tingkat efisiensi tinggi, dapat mencapai 85%.
- b. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- c. Konstruksinya sederhana.
- d. Mudah dalam perawatan.
- e. Teknologinya sederhana sehingga mudah diterapkan di daerah yang terisolasi.

Sementara itu, kekurangan kincir air *over shot* adalah sebagai berikut.

- Memerlukan biaya awal yang lebih besar. Karena aliran air berasal dari atas, biasanya kita memerlukan tandon air atau bendungan air.
- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- Daya yang dihasilkan relatif kecil.



Gambar 1.1 Kincir air *over shot* (a) dan *under shot* (b)  
(www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)

## 2. Kincir air *under shot*

Kincir air *under shot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah kincir air (Gambar 1.1b). Jenis ini cocok dipasang pada perairan dangkal di daerah yang rata. Air mengalir berlawanan arah dengan arah sudu yang memutar kincir.

Kelebihan kincir air *under shot* adalah sebagai berikut.

- Konstruksinya lebih sederhana.
- Lebih ekonomis.
- Mudah untuk dipindahkan.

Sementara itu, kekurangan kincir air *under shot* adalah sebagai berikut.

- Efisiensinya kecil.
- Daya yang dihasilkan relatif kecil.

## 3. Kincir air *breast shot*

Dilihat dari energi yang diterimanya, kincir air *breast shot* merupakan perpaduan antara tipe *over shot* dan *under shot* (Gambar 1.2a). Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air berada di sekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis ini memperbaiki kinerja dari kincir air *under shot*.

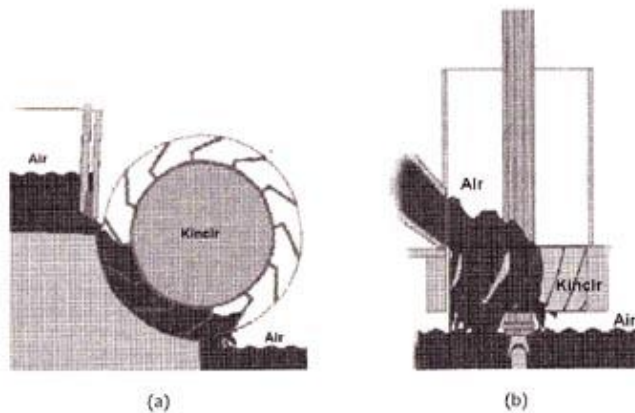
Kelebihan kincir air *breast shot* adalah sebagai berikut.

- Lebih efisien daripada tipe *under shot*.
- Tinggi jatuhnya lebih pendek daripada jenis *over shot*.
- Dapat diterapkan pada sumber air aliran datar.

Sementara itu, kekurangan kincir air *breast shot* adalah sebagai berikut.

- Diperlukan bendungan pada arus aliran datar.
- Efisiensi lebih kecil daripada tipe *over shot*.





Gambar 1.2 Turbin atau kincir air breast shot (a) dan tub (b)  
(www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)

#### 4. Kincir air *tub*

Kincir air *tub* merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horizontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertikal (Gambar 1.2b). Kincir jenis ini dapat dibuat lebih kecil daripada jenis *over shot* atau *under shot*. Karena arah gaya dari pancuran air bersifat menyamping, energi yang diterima oleh kincir ada dua jenis, yaitu energi potensial dan kinetik.

Kelebihan kincir air *tub* adalah sebagai berikut.

- Memiliki konstruksi yang lebih ringkas.
- Kecepatan putarnya lebih besar.

Sementara itu, kekurangan kincir air *tub* adalah sebagai berikut.

- Tidak menghasilkan daya yang besar.
- Karena komponennya lebih kecil, membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih pada saat pembuatannya.

Selain melalui aliran air di sungai, air terjun, dan bendungan/waduk, jenis air lain yang dapat dimanfaatkan sebagai penghasil energi adalah air laut. Pemanfaatan air laut sebagai pembangkit energi dapat dilakukan melalui beberapa cara, di antaranya adalah dengan memanfaatkan ombak atau gelombang laut, pasang surut air laut, dan perbedaan temperatur air laut.

#### Energi ombak (*wave energy*)

Energi ombak adalah energi yang dibangkitkan melalui efek gerakan tekanan udara akibat perbedaan tinggi-rendah (fluktuasi) pergerakan gelombang (Gambar 1.3). Energi kinetik yang ada pada gelombang laut digunakan untuk menggerakkan turbin. Turbin dan kincir memiliki prinsip kerja yang sama, hanya saja pada turbin bentuk sudu-sudu dan materialnya tidak sesederhana seperti yang dijumpai pada kincir.

Ombak naik ke dalam ruang generator, lalu air yang naik menekan udara keluar dari ruang generator dan menyebabkan turbin berputar. Ketika air turun, udara bertiup dari luar ke dalam ruang generator dan memutar kembali turbin (www.scribd.com/doc/15560315/ Pemanfaatan-Tenaga-Air). Energi kinetik yang ada pada gelombang laut digunakan untuk menggerakkan turbin.

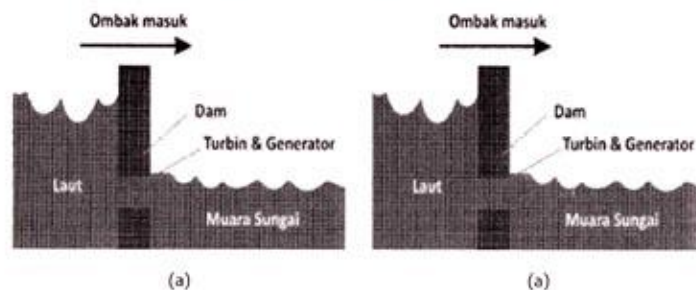
Kelebihan energi ombak adalah sebagai berikut.

- Energi ombak adalah energi yang bisa didapat setiap hari dan tidak akan pernah habis.
- Mudah untuk mengonversi energi listrik dari energi mekanik pada ombak.
- Selain ramah lingkungan, energi ini juga mempunyai intensitas energi kinetik yang besar dibandingkan dengan energi terbarukan yang lain. Hal ini disebabkan densitas air laut 830 kali lipat densitas udara sehingga dengan kapasitas yang sama, turbin arus laut akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin.
- Tidak perlu perancangan struktur yang kekuatannya berlebihan seperti turbin angin yang dirancang dengan memperhitungkan

adanya angin topan karena kondisi fisik pada kedalaman tertentu cenderung tenang dan dapat diperkirakan.

Sementara itu, kekurangan energi ombak adalah sebagai berikut.

- Diperlukan alat khusus yang memerlukan teknologi tinggi sehingga tenaga ahli sangat diperlukan.
- Sebuah dam yang menutupi muara sungai membutuhkan biaya pembangunan yang sangat mahal, dan meliputi area yang sangat luas sehingga dapat mengubah ekosistem lingkungan, baik ke arah hulu maupun hilir hingga beberapa kilometer.
- Hanya dapat menyuplai energi kurang lebih 10 jam setiap harinya, yaitu ketika ombak bergerak masuk ataupun keluar.



**Gambar 1.3** Pembangkit energi ombak, ketika air masuk dam (a) dan keluar dam (b)  
([www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air](http://www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air))

#### 6. Energi pasang surut (*tidal energy*)

Pasang surut adalah perubahan atau perbedaan permukaan air laut yang diakibatkan oleh gaya gravitasi (gaya tarik) bulan dan matahari, serta karena gerakan revolusi bumi. Bulan dan matahari memberikan gaya gravitasi terhadap bumi yang besarnya bergantung pada besarnya massa benda yang tarik-menarik tersebut. Bulan memberikan gaya tarik (gravitasi) yang lebih besar dibandingkan matahari. Hal ini karena walaupun massa bulan lebih kecil dari matahari, posisinya

lebih dekat dengan bumi. Gaya-gaya ini mengakibatkan air laut, yang menyusun 2/3 permukaan bumi, menggelembung pada sumbu yang menghadap ke bulan. Pasang surut terbentuk karena rotasi bumi yang berada di bawah muka air yang menggelembung ini, yang mengakibatkan kenaikan dan penurunan permukaan laut di wilayah pesisir secara periodik. Gaya tarik gravitasi matahari juga memiliki efek yang sama, namun dengan derajat yang lebih kecil. Daerah-daerah pesisir mengalami dua kali pasang dan dua kali surut selama periode 24 jam.

Pasang surut menggerakkan air dalam jumlah besar setiap harinya, dan pemanfaatannya dapat menghasilkan energi dalam jumlah yang cukup besar. Dalam sehari bisa terjadi hingga dua kali siklus pasang surut. Karena waktu siklus bisa diperkirakan (kurang lebih setiap 12,5 jam sekali), suplai listriknya pun relatif lebih dapat diandalkan daripada pembangkit listrik bertenaga ombak ([www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air](http://www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)).

Kelebihan energi pasang surut adalah sebagai berikut.

- Setelah dibangun, energi pasang surut dapat diperoleh secara gratis.
- Biaya operasional rendah.
- Produksi listrik stabil.
- Pasang surut air laut dapat diprediksi.
- Turbin lepas pantai memiliki biaya instalasi rendah dan tidak menimbulkan dampak lingkungan yang besar.

Sementara itu, kekurangan energi pasang surut adalah sebagai berikut.

- Biaya instalasi dan pemeliharaannya cukup besar.
- Tantangan teknis tersendiri bagi para ahli untuk merancang sistem turbin, sistem roda gigi, dan sistem generator yang dapat bekerja secara terus-menerus dalam jangka waktu lama.



- c. Menggunakan pasang surut gelombang sebagai pembangkit energi listrik bisa mengakibatkan rotasi bumi melambat 24 jam tiap 2.000 tahun.
- d. Hasil dari pembangkit listrik tenaga pasang surut mengikuti grafik sinusoidal sesuai dengan respons pasang surut akibat gerakan interaksi bumi-bulan-matahari.

Pada pemanfaatan pasang surut air laut untuk pembangkit tenaga listrik umumnya diperlukan juga bendungan pasang surut. Cara ini serupa dengan pembangkitan listrik secara hidro-elektrik yang terdapat di dam/waduk penampungan air sungai. Hanya saja, dam yang dibangun untuk memanfaatkan siklus pasang surut jauh lebih besar daripada dam air sungai pada umumnya. Dam ini biasanya dibangun di muara sungai, tempat terjadinya pertemuan antara air sungai dengan air laut. Pembangkit listrik tenaga pasang surut (PLTPs) terbesar di dunia terdapat di muara sungai Rance di sebelah utara Prancis ([www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air](http://www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)). Pembangkit listrik ini dibangun pada tahun 1966 dan berkapasitas 240 MW. PLTPs Rance dirancang dengan teknologi canggih dan beroperasi secara otomatis sehingga hanya membutuhkan dua orang saja untuk pengoperasian pada akhir pekan dan malam hari. PLTPs terbesar kedua di dunia terletak di Annapolis, Nova Scotia, Kanada dengan kapasitas 16 MW ([www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air](http://www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)).

#### 7. Energi perbedaan temperatur air laut (*ocean thermal energy*)

Cara lain untuk membangkitkan listrik dari air laut adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu air laut. Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut disebabkan oleh sinar matahari yang memanaskan permukaan laut. Namun demikian, di bawah permukaan laut, suhu sangat dingin. Pembangkit listrik bisa dibangun dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu yang diperlukan untuk hal ini sekurang-kurangnya 380 F, yang terjadi antara suhu permukaan dan suhu bawah laut. Cara ini dinamakan *Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC ([www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air](http://www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)).

[doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air](http://www.scribd.com/doc/15560315/Pemanfaatan-Tenaga-Air)). Cara ini telah digunakan di Jepang dan Hawaii dalam beberapa proyek percobaan.

Meskipun dari sungai dan laut dapat diperoleh energi dengan berbagai macam cara sebagaimana telah dipaparkan, untuk kondisi Indonesia, energi dari laut dan sungai belum dapat diterapkan secara langsung dengan maksimal. Hal ini menjadi sesuatu yang ironis karena Indonesia dikelilingi laut. Sistem pembangkit listrik bertenaga air di Indonesia sejauh ini memang berasal dari sungai, namun perlu dimaksimalkan dengan waduk atau bendungan. Pengelolaan energi listrik yang berasal dari air dikenal dengan nama pembangkit listrik tenaga air (PLTA). PLTA di Indonesia memiliki komponen utama sebagai berikut:

1. Bendungan: berfungsi menaikkan permukaan air sungai untuk menciptakan tinggi jatuh air.
2. Turbin atau kincir: gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air umumnya seperti kincir angin. Fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan oleh aliran air untuk memutar turbin. Selanjutnya, turbin mengubah energi kinetik yang disebabkan oleh gaya jatuh air menjadi energi mekanik.
3. Generator: dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar, generator juga ikut berputar. Selanjutnya, generator mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Generator di PLTA bekerja seperti halnya generator pembangkit listrik lainnya.
4. Jalur transmisi: berfungsi menyalurkan energi listrik dari PLTA menuju bangunan.

#### 1.4.3 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan atau suhu udara. Pada kecepatan tertentu, pergerakan udara ini mampu memutar kincir atau baling-baling udara. TABEL 1.2 menunjukkan batas-batas kecepatan angin yang dapat digunakan untuk menggerakkan kincir, dan untuk selanjutnya, mem-

bangkitkan energi listrik. Skala kecepatan angin diukur dengan sistem Beaufort, sesuai dengan nama penemunya, yaitu orang Irlandia bernama Francis Beaufort. Dua hal yang perlu dicatat mengenai pemanfaatan energi angin di Indonesia adalah (www.kompas.com):

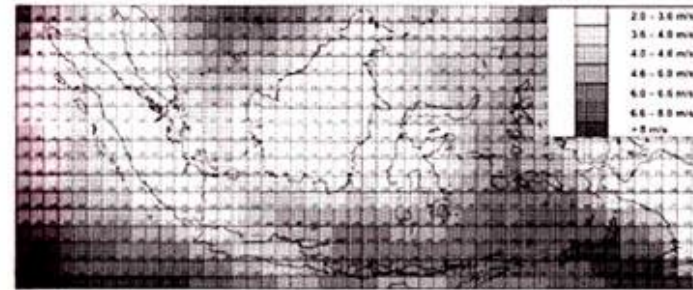
1. Penerapan energi angin di Indonesia tergolong masih rendah. Kapasitas saat ini baru mencapai 0,6 MW dari kapasitas terpasang optimum (25 MW), sedangkan potensi energi angin seluruhnya mencapai 73 GW.
2. Jika diperiksa secara terperinci, potensi sumber angin yang dapat berlangsung terus-menerus di Indonesia berada di daerah terpencil, terutama di kawasan Timur Indonesia, yaitu NTB, NTT, dan Maluku Tenggara serta sebagian Papua (Gambar 1.4).

TABEL 1.2 Klasifikasi angin (en.wikipedia.org)

Skala Beaufort	Kecepatan (m/det)	Keterangan
0	< 0,3	<i>calm</i>
1	0,3–1,5	<i>light air</i>
2	1,6–3,4	<i>light breeze</i>
3	3,5–5,4	<i>gentle breeze</i>
4	5,5–7,9	<i>moderate breeze</i>
5	8,0–10,7	<i>fresh breeze</i>
6	10,8–13,8	<i>strong breeze</i>
7	13,9–17,1	<i>high wind, moderate gale, near gale</i>
8	17,2–20,7	<i>gale, fresh gale</i>
9	20,8–24,4	<i>strong gale</i>
10	24,5–28,4	<i>storm, whole gale</i>
11	28,5–32,6	<i>violent gale</i>
12	≥ 32,7	<i>hurricane</i>

Keterangan: Kecepatan yang memungkinkan untuk pemasangan turbin angin adalah pada baris yang dicetak abu-abu, yaitu 3,5 m/det sampai 20,7 m/det.

#### PETA POTENSI ANGIN INDONESIA

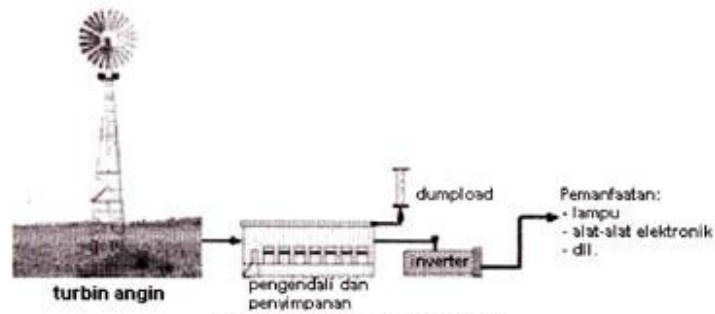


Gambar 1.4 Peta potensi angin di Indonesia, potensi terbesar dipetakan dengan warna oranye sampai merah tua (nextdaytechnology.blogspot.com)

Sekalipun sistem kerja turbin angin tidaklah rumit (Gambar 1.5), setidaknya ada lima kendala penerapan energi listrik tenaga angin di Indonesia, yaitu

1. Ketersediaan suku cadang masih terbatas, padahal turbin angin memerlukan pemeliharaan secara teratur (rutin).
2. Pemeliharaannya terkendala masalah lokasi yang terpencil sehingga minim ketersediaan tenaga teknis yang kompeten.
3. Secara ekonomis belum dapat bersaing dengan pemakaian energi fosil.
4. Pemetaan spasial potensi sumber energi angin setiap daerah belum banyak dilakukan.
5. Akibat berbagai kendala tersebut, investasi pembangkit listrik tenaga angin belum menarik di Indonesia.



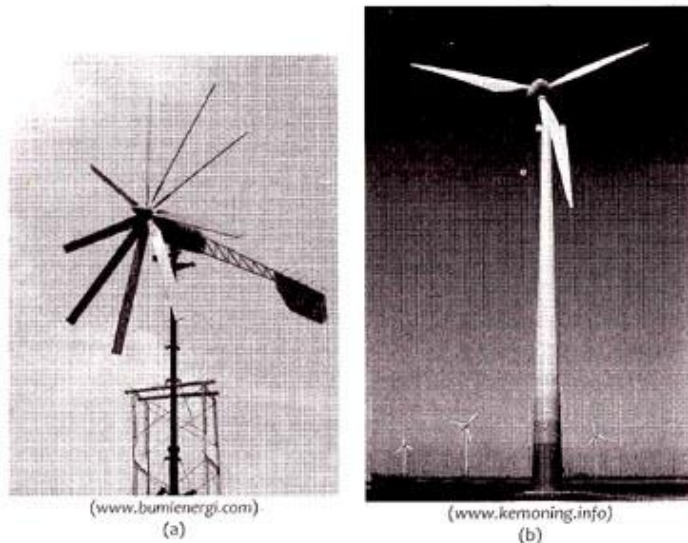


Gambar 1.5 Prinsip kerja turbin angin

Sekalipun masih dijumpai beberapa kendala dalam penerapan pembangkit energi tenaga angin, kita dapat melihat penerapan pemanfaatan energi ini di beberapa tempat di Indonesia. PLN telah menjalin kerja sama dengan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk membangun pembangkit listrik tenaga angin berkapasitas 100 kW di Pulau Selayar, Sulawesi Selatan dan di beberapa lokasi lain di Indonesia. Instalasi di Pulau Selayar merupakan turbin angin terbesar yang telah dibangun saat ini di Indonesia ([www.kompas.com](http://www.kompas.com)). Pusat energi listrik bertenaga angin disebut PLTB (kependekan dari pembangkit listrik tenaga bayu). Contoh lain PLTB sederhana berada di Pantai Pandansimo, Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Di pesisir pantai ini terdapat 39 menara kincir angin dan beberapa panel surya. Pemanfaatan energi alam ini bertujuan untuk memajukan 350 keluarga yang menghuni Dusun Ngenthak. Menara kincir angin ini dibangun oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang bekerja sama dengan pihak Jerman pada tahun 2005. Awalnya digunakan kincir yang besar, namun hal ini justru membuat kerja kincir tidak maksimal karena pola angin di kawasan Pantai Pandansimo tidak stabil. Pada pagi hari kecepatan angin umumnya berkisar 2–5 m/det saja, kemudian baru meningkat pada sore hingga malam mencapai 8 m/det. Oleh karenanya, kincir kemudian diperkecil dan dilengkapi dengan sirip pada bagian belakang dan engsel putar sehingga memungkinkan kincir terus berputar mengikuti perubahan pola angin. Secara total kincir angin ini mampu menghasilkan energi listrik sebesar 170 kW ([www.kompas.com](http://www.kompas.com)).

Secara umum di Indonesia dikenal dua macam cara pemakaian kincir angin, yaitu kincir angin yang energinya dimanfaatkan secara langsung untuk mengambil/mengangkat air dari dalam tanah dan kincir angin dengan rangkaian penyimpan energi untuk kemudian dimanfaatkan untuk menyalakan peralatan listrik. Kincir angin yang digunakan langsung untuk mengambil air tanah dikenal dengan nama kincir egra (kependekan dari “energi gratis”). Kincir ini dikembangkan oleh Hasan Hambali dari Yayasan Heritage, Bogor, Jawa Barat. Idennya muncul ketika alumnus ITB ini merasakan betapa besarnya biaya yang dibutuhkan untuk menyiram 2.000 pohon mangga di kebun miliknya. Keprihatinan ini kemudian berujung pada dikembangkannya kincir angin yang mampu berputar pada kecepatan angin yang rendah ([www.bumienergi.com](http://www.bumienergi.com)). Dalam bahasa Inggris kincir ini dinamai LWS (kependekan dari Low Wind Speed).

Egra adalah kincir yang dipasang setinggi 10 m dari permukaan tanah dan digerakkan oleh angin. Desainnya pun dirancang sesederhana mungkin agar setiap orang bisa membuatnya (Gambar 1.6). Tidak ada syarat geografis untuk memasang pompa kincir angin ini sepanjang angin bertiup minimal 15 km/jam dan terdapat sumber air (bisa sumur, sungai, danau, dan sebagainya). Tenaga yang ditimbulkan oleh putaran kincir disalurkan ke engkol atau lengan penggerak pompa air (<http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/indonesia/11-energi-dari-lahan/egra-energi-dari-angin>). Selain untuk memompa air, egra sesungguhnya juga bisa digunakan untuk menyimpan energi sepanjang dihubungkan dengan perangkat penyimpan energi (aki atau baterai), sekalipun energi yang dihasilkan memang tidak seberapa besar.



**Gambar 1.6** Perbedaan antara kincir egra (a) dan kincir angin biasa (b) terletak pada ekor pengarah yang terdapat pada egra. Ekor ini akan membuat kincir dapat berputar berkeliling untuk menghadap arah angin datang yang tepat sehingga pada kecepatan angin kecil-sedang, kincir tetap dapat berputar. Egra juga terbuat dari material yang lebih ringan sehingga lebih mudah berputar

Meskipun penggunaan kincir angin, baik yang bersifat langsung maupun dengan penyimpanan energi, akan memberikan dampak positif bagi kehidupan, terutama dari aspek penyediaan energi, sebelum memutuskan untuk menggunakannya, perlu pula kiranya dipertimbangkan delapan hal yang kurang menguntungkan, yaitu (penghematanenergi.blogdetik.com)

1. Keberadaannya membutuhkan lahan yang luas, apalagi untuk ladang angin yang besar.
2. Gangguan visual, yaitu menghambat pancaran sinar matahari dan juga menyebabkan cahaya matahari berkelip-kelip bila melalui sudu baling-baling (hal ini dapat mengganggu penglihatan penduduk di sekitarnya dan penerangan rendah).

3. Burung dan kelelawar bisa terluka, bahkan mati karena menabrak sudu turbin angin sehingga populasinya bisa menurun.
4. Kebisingan frekuensi rendah akibat putaran dari sudu-sudu turbin angin akan terdengar lebih mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon.
5. Dalam keadaan tertentu, turbin angin juga dapat menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk peralatan komunikasi.
6. Beberapa ilmuwan berpendapat bahwa penggunaan skala besar dari pembangkit listrik tenaga angin dapat mengubah iklim lokal maupun global karena menggunakan energi kinetik angin dan mengubah turbulensi udara pada daerah atmosfer.
7. Pembangunan pembangkit angin pada lahan yang bertanah kurang bagus juga dapat menyebabkan rusaknya lahan di daerah tersebut.
8. Ladang angin yang terletak di daerah lepas pantai dapat mengganggu kehidupan bawah laut, terutama karena kebisingan frekuensi rendah yang dihasilkannya, yang akan mengganggu komunikasi ikan-ikan di laut.

#### 1.4.4 Energi Biomassa

Energi biomassa adalah sumber energi dari bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Bahan organik ini dapat diperoleh secara langsung melalui pemanfaatan tanaman dan hewan, atau dari sampah. Ketersediaan sampah organik akan terus berlanjut selama kegiatan manusia juga terus menghasilkan sampah, terutama sampah yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Sampah yang terbuat dari material nonorganik tidak dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bio, tetapi dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain. Hal ini akan dibahas pada Bab IV dan X.

Tumbuh-tumbuhan menyerap energi dari matahari untuk pertumbuhan dan perkembangbiakannya. Hewan herbivor memanfaatkan energi matahari yang terdapat pada tumbuhan secara langsung untuk kelangsungan hidupnya, sedangkan hewan karnivor memanfaatkan energi matahari



secara tidak langsung, yaitu melalui energi yang telah berubah bentuk menjadi daging pada hewan lain. Makhluk hidup yang memanfaatkan matahari untuk kelangsungan hidupnya merupakan sumber utama energi bio.

## Bahan Dasar Biomassa

Saat biomassa menghasilkan energi, CO<sub>2</sub> akan dilepaskan ke atmosfer. Siklus CO<sub>2</sub> ini lebih pendek dibandingkan dengan yang dihasilkan dari pembakaran minyak bumi atau gas alam sehingga tidak memiliki efek terhadap kesetimbangan CO<sub>2</sub> di atmosfer. Oleh karenanya, meskipun menghasilkan limbah CO<sub>2</sub>, pemanfaatan biomassa merupakan pemanfaatan energi yang berkelanjutan. Biomassa dapat diambil dari limbah pertanian, limbah industri berbahan dasar organik (seperti pengolahan kayu), atau dari tanaman yang memang ditanam secara khusus untuk menghasilkan energi bagi mesin bakar (misalnya, pohon jarak atau *Ricinus communis*). Selain limbah pertanian dan industri, limbah peternakan dan limbah rumah tangga juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi biomassa. Bahan penyusun biomassa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu biomassa kering (limbah kayu, jerami, atau sekam) dan biomassa basah (kotoran ternak dan sampah rumah tangga). Untuk pemanfaatan yang lebih luas, energi biomassa mengalami beberapa pengolahan sebagai berikut (Kong, 2010):

### 1. Densifikasi

Densifikasi adalah pembentukan biomassa menjadi briket atau pelet (Gambar 1.7). Tujuannya adalah untuk meningkatkan densitas dan memudahkan penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum densifikasi mempunyai beberapa keuntungan (Basriyanta, 2005), yaitu menaikkan nilai kalor per unit volume, mudah disimpan dan diangkut, serta mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam.

### 2. Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses mengubah bahan organik menjadi arang. Pada proses ini terjadi pelepasan zat yang mudah terbakar, seperti CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, formaldehida, metana, asam format dan asam asetil (*formic*

dan *acetyl acid*), serta zat yang tidak terbakar, seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan tar cair. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi sehingga terjadi proses daur.

### 3. Pirolisis (termolisis)

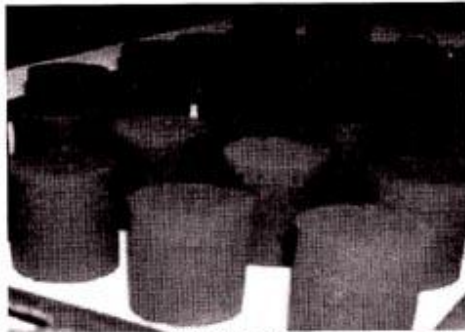
Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia terhadap biomassa dengan menggunakan pemanasan tanpa oksigen (Gambar 1.8). Proses ini merupakan bagian dari proses karbonisasi atau proses untuk memperoleh karbon/arang. Proses ini merupakan *high temperature carbonization* (HTC) dengan suhu lebih dari 500° C. Hasil dari proses ini adalah bahan bakar padat (karbon/arang), cairan berupa campuran tar, gas CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan beberapa gas lain dengan konsentrasi yang kecil.

### 4. Digesti anaerobik (anaerobic digestion)

Digesti anaerobik (*anaerobic digestion*) adalah proses yang melibatkan mikroorganisme tanpa adanya oksigen dalam suatu *digester* (alat pencampur). Produk yang dihasilkan berupa gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), serta beberapa gas dalam konsentrasi kecil, seperti H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S. Ada dua macam proses digesti, yaitu kering dan basah. Perbedaannya terletak pada kandungan biomassa dalam campuran air. Pada digesti kering, kandungan biomasanya 25–30%, sedangkan pada jenis basah, kandungan biomasanya kurang dari 15% (Singh dan Misra, 2005).

### 5. Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses pengubahan material cair dan padat menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan suhu tinggi. Produk yang dihasilkan adalah bahan bakar cair yang lebih bersih dan efisien dibandingkan dengan produk dari proses pembakaran secara langsung. Melalui proses Fischer-Tropsch (sesuai dengan nama penemunya), gas hasil gasifikasi dapat diekstraksi menjadi metanol.



(Iswanto, 2012)

Gambar 1.7 Briket arang yang telah dicetak dalam bentuk tabung pada pengolahan sampah di Sukunan, Sleman, Yogyakarta



(Iswanto, 2012)

Gambar 1.8 Tong untuk pembakaran dengan sistem pirulisi pada pengolahan sampah di Sukunan, Sleman, Yogyakarta

Pemanfaatan energi biomassa yang telah dikembangkan secara luas adalah

1. pembakaran langsung (*direct combustion*) dalam bentuk pemanfaatan panas;
2. konversi menjadi bahan bakar cair;
3. pemanfaatan gas biomassa.

### Biofuel

*Biofuel* adalah bahan bakar dari sumber hayati yang merupakan energi biomassa berbentuk cair, contohnya biodiesel, bioetanol, dan *bio-oil*. *Biofuel* berasal dari setiap bahan padatan, cairan, atau gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik yang dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, domestik, atau pertanian/peternakan.

Ada tiga cara pembuatan *biofuel*, yaitu ([www.chem-is-try.org](http://www.chem-is-try.org))

1. pembakaran limbah organik kering (seperti buangan rumah tangga, limbah industri, dan pertanian);
2. fermentasi limbah basah (seperti kotoran hewan) tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas (mengandung hingga 60% metana);
3. fermentasi tebu atau jagung untuk menghasilkan alkohol dan ester.

Apabila bahan bakar fosil mengembalikan karbon yang tersimpan di bawah permukaan tanah selama jutaan tahun ke udara, *biofuel* lebih bersifat karbon netral dan hanya sedikit meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

### Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang terdiri atas campuran ester monoalkil dari rantai panjang asam lemak yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar mesin diesel. Dampak positif penggunaan biodiesel adalah mengurangi pencemaran udara yang dihasilkan oleh solar. Biodiesel merupakan cairan kekuningan pada bagian atas dan dengan mudah dipisahkan dari cairan bagian bawah dengan pemangsan secara hati-hati. Untuk skala



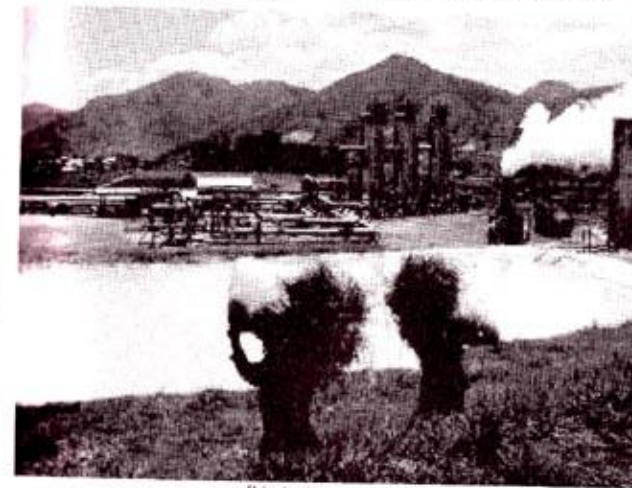
### 1.4.5 Energi Panas Bumi

Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan yang tersimpan di dalam bumi. Penggunaan energi panas bumi (geotermal) berarti memanfaatkan panas dari dalam bumi melalui material-material tersebut. Inti bumi sangat panas, diperkirakan tingkat panasnya saat ini adalah 500°C. Hingga pada jarak 3 m teratas dari permukaan bumi, panasnya tetap bertahan pada angka 10–16°C (id.wikipedia.org). Oleh berbagai macam proses geologi, pada beberapa tempat, suhu yang lebih tinggi dari 16°C dapat ditemukan. Ketika sumber air panas geotermal dekat permukaan, air panas dapat langsung dipipakan ke tempat yang membutuhkan. Sementara itu, pada pembangkit listrik tenaga geotermal digunakan sumur dengan kedalaman sampai 1,5 km atau lebih untuk mencapai cadangan panas bumi yang sesungguhnya.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi hampir tidak menimbulkan polusi atau emisi. Tenaga ini juga tidak menimbulkan kebisingan. Pembangkit listrik tenaga geotermal menghasilkan listrik sekitar 90% dari bahan bakunya, dibandingkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang hanya menghasilkan 65–75% dari bahan bakunya (id.wikipedia.org). Namun sayangnya, di Indonesia dan di banyak negara dengan cadangan panas bumi melimpah, sumber energi geotermal belum dimanfaatkan secara besar-besaran. Beberapa kesulitan teknis, seperti penyediaan peralatan dan ahli, merupakan penyebab pemanfaatan yang kurang maksimal ini.

Pengembangan panas bumi di Indonesia saat ini didominasi oleh perusahaan nasional, yaitu PT Pertamina Geothermal Energy (PT PGE) dan PT PLN, juga beberapa perusahaan nonpemerintah, misalnya PT Geo Dipa Energi Dieng yang mengelola pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) di Dieng, Jawa Tengah (Gambar 1.10), Medco Energi, dan Bakrie Power yang menanamkan modal untuk pengembangan PLTP di Jawa Timur, yaitu masing-masing di Ijen (Situbondo-Bondowoso) dan Ngebel (Ponorogo-Madiun). Jawa Timur ingin mengejar ketertinggalannya dari Jawa Barat yang kini telah memiliki 4 PLTP dan Jawa Tengah yang memiliki 2 PLTP (*Harian Jawa Pos*, 11 Februari 2012). Dan, agar pemanfaatannya semakin berkembang, baru-baru ini pemerintah Indonesia

bekerja sama dengan perusahaan energi dari Amerika Serikat, Chevron, untuk mulai menggarap energi geotermal di Indonesia secara serius.



(bisnis.vivanews.com)

Gambar 1.10 Warga desa di Dieng, Jawa Tengah bekerja di kebun dengan latar belakang pembangkit listrik tenaga panas bumi (geotermal)

### 1.4.6 Energi Hidrogen

Hidrogen adalah zat alami yang paling banyak dijumpai di alam semesta. Meskipun dalam bentuk gas, hidrogen tidak dijumpai di bumi. Hidrogen tidak berwarna dan tidak berbau. Hidrogen disebut energi masa depan karena dapat menyimpan energi dengan baik. Hidrogen diperoleh dengan memisahkan unsur H dari air ( $H_2O$ ) melalui proses elektrolisis, juga dengan memisahkan biomassa dan gas alam. Meskipun demikian, proses ini dapat digolongkan sangat mahal sehingga masih sulit untuk diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, sifat gas hidrogen yang mudah terbakar juga menjadi tantangan dalam penggunaannya.

#### 1.4.7 Sumber Energi yang Tidak Lazim

Selain sumber-sumber energi terbarukan yang telah disebutkan, di alam ini juga dijumpai beberapa objek atau zat yang dapat menjadi sumber energi, sekalipun mungkin termasuk jenis yang tidak lazim. Sumber sumber itu, di antaranya, adalah (Satwiko dalam Santoso, 2009)

1. energi dari bakteri dan ganggang (karena beberapa bakteri dan ganggang memproduksi hidrogen);
2. energi dari jalan berbahan aspal yang menjadi sangat panas saat terkena paparan sinar matahari;
3. energi dari kendaraan yang melintas;
4. energi dari layang-layang;
5. energi dari panas tubuh manusia dan hewan;
6. energi dari panas prosesor komputer;
7. dan sebagainya.

Sumber energi yang tidak lazim ini masih berada dalam tahap penelitian dan belum dimanfaatkan secara nyata.

### 1.5 KESIMPULAN

Dengan banyaknya sumber energi yang tersedia di alam sekitar kita yang merupakan energi terbarukan dan ramah lingkungan, sudah seyogianya masyarakat segera beralih dari penggunaan energi tak terbarukan ke energi terbarukan. Pada tahun 2012 pemerintah Indonesia menetapkan Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, DIY sebagai proyek percontohan (*pilot project*) untuk penggunaan energi secara hibrid antara penggunaan panel surya dan kincir angin (<http://regional.kompas.com/read/2012/04/08/08295966/Bantul.Jadi.Percontohan.Energi.Hibrid>). Bila di Bantul digunakan dua sumber energi terbarukan, untuk area atau daerah lain perlu ditempuh langkah-langkah kajian sebelum dapat menetapkan jenis sumber energi terbarukan yang akan digunakan. Pilihan mengenai manakah sumber energi yang sesuai untuk menggantikan energi tak terbarukan ditentukan oleh beberapa hal dan tentu memerlukan studi

mendalam agar diperoleh manfaat yang sebesar-besarnya. Pada Bab V akan dipaparkan secara lebih terperinci mengenai jenis-jenis energi terbarukan yang dapat diterapkan pada bangunan dan lingkungan binaan secara mudah dan mandiri.

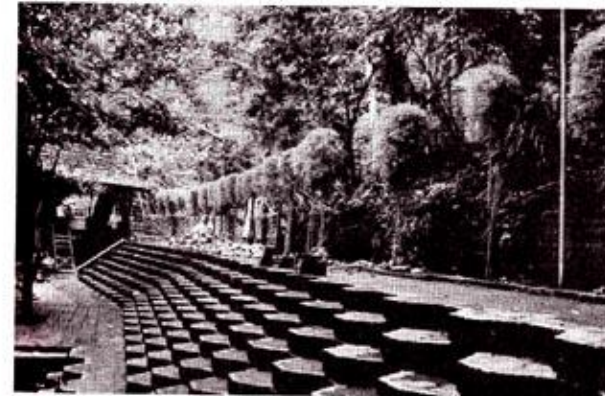
Penghematan energi dan penggunaan energi mandiri terbarukan pada bangunan dan lingkungan binaan adalah faktor penting untuk menjaga lingkungan tetap lestari. Laporan penelitian Firma Teknik, Max Fordham, pada 2007 menyebutkan bahwa di negara maju, bangunan mengonsumsi 30% penggunaan energi, 25% untuk transportasi, dan 25% sisanya untuk industri ([www.thejakartapost.com](http://www.thejakartapost.com)). Keadaan di negara berkembang seperti Indonesia tentu tidak serupa. Namun, sikap ketergantungan masyarakat Indonesia yang amat tinggi pada perangkat berenergi listrik dimungkinkan membawa Indonesia dalam keadaan serupa di masa mendatang. Perancangan bangunan yang memerhatikan secara cermat penggunaan energi tentu akan mendukung terciptanya kelestarian lingkungan.



amati bahwa zonasi seperti ini dapat menyebabkan terjadinya pemborosan energi untuk angkutan/transportasi. Mengenai pemborosan energi untuk transportasi akan dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya.

Selain dari aspek peruntukan sesuai dengan rencana kota, pemilihan lahan untuk suatu bangunan atau lingkungan binaan hendaknya menghindari posisi yang terlalu curam atau terlalu rendah. Hal ini untuk mengurangi penggunaan energi saat pengangkutan peralatan dan material bangunan, juga untuk mengurangi penggunaan energi yang timbul saat bangunan sudah digunakan. Lahan yang terlalu rendah dari permukaan jalan pasti membutuhkan material urug (tanah urug) yang terlalu banyak sehingga kurang efektif dari aspek angkutan dan material. Sebaiknya lahan yang terlalu tinggi atau rendah tetap difungsikan sebagai area resapan dan fungsi-fungsi alamiah lainnya.

Apabila dengan sengaja dipilih lahan yang curam untuk suatu tujuan tertentu, misalnya memamerkan keindahan alam, seperti untuk fungsi hotel resor, langkah terbaik untuk tetap menjaga keseimbangan ekosistem adalah dengan sedikit mungkin melakukan penggalian atau pengurukan lahan dan tetap menjaga keberadaan pepohonan di atas lahan. Penggunaan lahan yang curam atau berbukit-bukit memang memberikan konsekuensi pengolahan lahan yang lebih rumit. Namun dengan kecermatan dan kehati-hatian, hal ini tetap dapat dilakukan (Gambar 2.2–2.4).



(www.sendangsono.info)

**Gambar 2.2** Tempat ziarah umat Katolik rancangan Romo Y.B. Mangunwijaya di Sendangsono, Kulon Progo, Yogyakarta yang menempati area perbukitan. Kontur bukit tetap dipertahankan dengan perkuatan lereng yang juga berfungsi sebagai tangga



(www.travelblog.org)

**Gambar 2.4** Natura Resort and Spa rancangan Popo Dones pada sebuah area lereng terjal di Ubud Bali, dirancang dengan sistem lantai panggung untuk meminimalkan perubahan topak alamiah



(www.freshome.com)

**Gambar 2.4** Ubud Resort di Ubud, Bali dengan kolam renang bertingkat-tingkat yang juga merupakan rancangan Popo Danes. Sekalipun dirancang dengan tetap memerhatikan kelestarian lahan, konstruksi kolam renang yang masif tersebut dipastikan kurang mencapai aspek hemat. Penghematan material, baik dalam jumlah maupun pengangkutan, pasti sulit tercapai

Perhatian akan pemilihan lahan sebaiknya juga mempertimbangkan bentuk dan luasan lahan. Lahan berbentuk memanjang akan lebih sesuai jika digunakan untuk bangunan yang akan dirancang linear, seperti rumah sewa atau rumah kos. Sebaliknya, lahan tersebut kurang sesuai untuk area publik dengan tingkat interaksi tinggi, seperti arena bermain, gedung pertunjukan, dan sebagainya. Luasan lahan juga semestinya dipertimbangkan sesuai dengan luas tapak bangunan yang dibutuhkan (termasuk kebutuhan luas lantai, KDB, dan KLB, yang akan dipaparkan pada bagian selanjutnya) agar dapat memberikan porsi untuk keperluan ruang terbuka hijau (RTH). Setiap petak lahan sebaiknya menyisakan setidaknya 40% untuk fungsi RTH.

## 2.2 RUANG TERBUKA HIJAU (RTH), SEMPADAN, KDB, DAN KLB PADA LAHAN

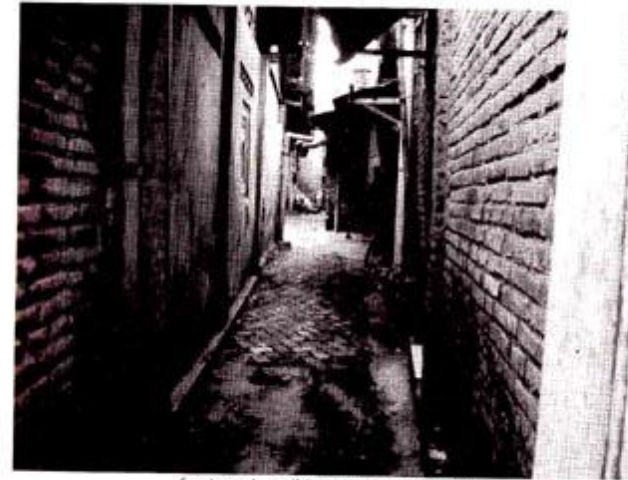
Ketika disebutkan bahwa setiap petak lahan idealnya menyisakan setidaknya 40% untuk fungsi RTH, tentulah hitungan ini didasarkan pada area terbuka yang benar-benar hijau. Tidak selalu harus berupa tanam-tanaman secara keseluruhan, namun dapat dikombinasikan dengan perkerasan yang tetap dapat menyerap air. Ruang terbuka dengan perkerasan permanen nonserap, seperti aspal dan beton, tentu tidak termasuk dalam RTH. Demikian pula dengan bangunan atau ruang-ruang tambahan beratap di luar bangunan utama, seperti pendopo (bangunan berdinding terbuka khas Yogyakarta dan Jawa Tengah) dan gazebo.

Lahan luar bangunan yang difungsikan sebagai RTH sebaiknya bukan lahan sisa, namun bagian dari pengolahan lahan yang sejak awal direncanakan luasan dan penyelesaiannya. Keberadaan RTH sangatlah penting bila ditinjau dari aspek penghematan energi. Dengan setiap bangunan dikelilingi RTH, bangunan yang saling berdampingan tidak akan berada pada posisi yang terlampaui rapat sehingga memungkinkan adanya aliran udara yang mencukupi, masuknya sinar matahari langsung atau sinar dari kubah langit, adanya cukup area untuk penanaman pepohonan peneduh, dan sebagainya. Oleh karena itulah, sebenarnya setiap konstruksi bangunan perlu memerhatikan adanya garis sempadan. Garis sempadan bangunan adalah garis batas terluar dinding bangunan yang dihitung dari garis terluar lahan atau kaveling bangunan (*KBBB*). Selama ini kita umumnya hanya menghitung atau memerhatikan garis sempadan bagian muka atau depan bangunan. Pada bangunan dengan posisi sudut, kita juga hanya memerhatikan sempadan depan yang mengelilinginya. Sesungguhnya garis sempadan bangunan ditetapkan mengelilingi seluruh bangunan utama, termasuk bagian samping dan belakang lahan. Hal ini ditujukan bagi diperolehnya aliran udara dan cahaya alami yang memadai. Kita umumnya memiliki kecenderungan untuk mengabaikan sempadan samping dan belakang. Bila tidak memungkinkan untuk memelihara sempadan samping dan belakang secara sekaligus karena keterbatasan lahan, setidaknya salah satu saja yang dipelihara. Sisi samping dan belakang bangunan yang tertutup atau menempel pada batas lahan akan menutup



aliran udara dan cahaya di bagian samping dan belakang bangunan. Pemandangan semacam ini mudah kita jumpai pada bangunan rumah di Indonesia, tidak saja pada rumah-rumah di perkampungan yang padat, namun juga di perumahan. Hal ini menunjukkan bahwa kesadaran akan perlunya memenuhi garis sempadan samping dan belakang masih rendah.

Sesungguhnya setiap lahan yang diolah untuk pendirian bangunan harus memenuhi aturan koefisien dasar bangunan (KDB) atau *building coverage ratio* (BCR) kawasan setempat. KDB adalah perbandingan antara luas lantai dasar bangunan dengan luas tanah yang dikalikan dengan 100% sehingga koefisien yang digunakan biasanya berupa persen atau desimal (misalnya, 60% atau 0,6). KDB/BCR ini bertujuan untuk mengatur besaran luasan bangunan yang menutupi permukaan tanah. Hal ini akan memengaruhi infiltrasi air tanah demi ketersediaan air tanah di masa mendatang. Selain sebagai penjaga keberadaan air tanah, permukaan tanah yang tidak tertutup bangunan akan mampu menerima sinar matahari secara langsung untuk membuat tanah berada dalam keadaan cukup kering sehingga udara yang bertiup di sekitar bangunan tidak menjadi lembab. Idealnya, aturan mengenai KDB tidak berdiri sendiri, namun selaras dengan aturan garis sempadan bangunan (Gambar 2.6) sehingga area terbuka sebesar 40% tidak hanya diletakkan pada bagian depan, namun merata di sekeliling bangunan. Keadaan ideal inilah yang akan memberikan penghematan energi pada bangunan yang cukup besar. Penerapan garis sempadan mengelilingi bangunan juga semakin terdukung ketika bangunan-bangunan pada suatu lingkungan atau kawasan memenuhi aturan koefisien lantai bangunan (KLB) atau *floor area ratio* (FAR). KLB adalah perbandingan antara luas lantai bangunan secara keseluruhan dengan luas tanah ( $KDB \times n : \text{luas lahan}$ ), di mana  $n$  merupakan jumlah lantai (tingkat) bangunan. Angka koefisien yang digunakan biasanya berupa desimal (misalnya, 1,2; 1,6; 2,5; dan sebagainya). Peraturan mengenai KLB ini akan memengaruhi garis ketinggian bangunan (*skyline*) yang tercipta oleh kumpulan bangunan pada suatu lingkungan/kawasan. Tujuan dari penetapan KLB ini terkait dengan hak setiap orang; bangunan untuk menerima sinar matahari (Gambar 2.5). Jika bangunan memiliki tinggi yang serasi, semua bangunan pada area itu akan memperoleh kesempatan yang sama untuk mendapatkan sinar matahari.



(maisarahpradhitasari.wordpress.com)  
Gambar 2.5 Jarak antarbangunan yang terlalu rapat menyebabkan ketiadaan aliran udara dan cahaya matahari

penghematan energi akan terjadi dan polusi hasil emisi kendaraan hanya berada dalam sebuah kawasan, tidak menumpuk dan berlipat ganda dengan kawasan lain.

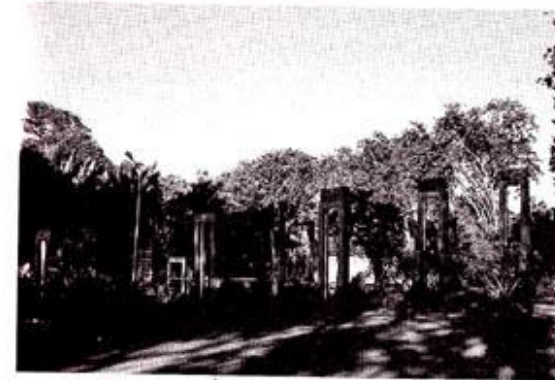
Bila karena suatu keadaan sistem *neighbouring unit* terlambat diterapkan, seperti halnya yang terjadi di Jakarta, satu-satunya cara untuk menekan pemborosan energi adalah dengan menyediakan angkutan massal yang memadai. Hal ini juga semestinya diikuti dengan benar-benar menjaga cara perolehan/pembelian kendaraan bermotor dan menjaga ketat cara perolehan surat izin mengemudi (SIM) sehingga tidak sembarang orang dapat mengemudi di jalan raya. Penyediaan angkutan massal yang baik telah membuktikan bahwa penggunaan kendaraan pribadi dapat sangat dikurangi. Contoh penggunaan angkutan massal yang baik mudah dijumpai di negara/kota tetangga, seperti Singapura dan Hong Kong. Bahkan, Kuala Lumpur (Malaysia) kini memiliki sistem angkutan massal yang lebih baik dari Jakarta.

## 2.4 LANSKAP ARSITEKTUR HEMAT ENERGI

Ketika suatu lahan terpilih telah direncanakan secara matang kebutuhan luasan untuk area terbangun dan ruang terbukanya, tata ruang di luar gedung perlu diatur sedemikian rupa agar mampu memenuhi tujuan dan fungsinya. Tata ruang luar ini dikenal juga dengan istilah *lanskap*. Selain itu, dikenal pula istilah *lanskap arsitektur*, yaitu perancangan ruang luar bangunan dan area publik untuk mencapai lingkungan yang mampu mengakomodasi kebutuhan luar ruang manusia, namun tetap memerhatikan aspek-aspek estetika. Lanskap arsitektur meliputi perencanaan dan perancangan kota atau kawasan (lingkup umum) dan lahan tertentu (lingkup spesifik). Lanskap arsitektur juga meliputi perencanaan dan perancangan taman, area perumahan, tempat rekreasi, dan sebagainya.

Pada skala kota, capaian yang baik dari suatu kota ditandai dengan penciptaan lanskap arsitektur berupa taman-taman kota. Taman kota difungsikan sebagai tempat interaksi warga sekaligus menjadi paru-paru kota untuk menyerap polusi udara yang diakibatkan emisi gas buang kendaraan bermotor. Kota-kota besar di negara maju ditandai dengan besarnya persentase atau banyaknya taman kota yang disediakan bagi

warganya. Singapura dan Hong Kong adalah sedikit dari kota di Asia yang telah menyediakan taman kota dalam jumlah dan luasan yang memadai. Di Indonesia sendiri, Surabaya adalah kota besar yang dalam kurun waktu singkat mampu menambah jumlah taman kota secara signifikan (Gambar 2.7 2.10). Saat ini ada cukup banyak taman di Surabaya yang sangat diminati warga, seperti Taman Prestasi, Taman Apsari, Taman Kalimantan (Taman Lansia), Taman Bungkul, Taman Flora (bekas kebun bibit), dan masih banyak lagi. Beberapa taman tersebut menempati lokasi bekas Hasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) yang sangat strategis letaknya. Sampai saat ini area ruang terbuka hijau (RTH) di Surabaya sudah lebih dari 20%. Namun dengan adanya peningkatan peraturan yang mewajibkan tiap kota/daerah setidaknya memiliki 30% RTH, Surabaya pun akan menambah jumlah RTH-nya melalui pengembangan hutan kota di Pakal dan Balasklumprik (*Harian Jawa Pos*, 2 Februari 2012).



(www.wijanarko.net)

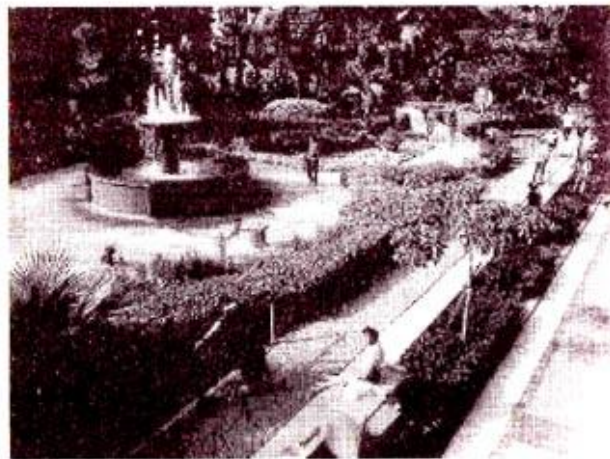
Gambar 2.7 Taman Bungkul di Jl. Darmo, Surabaya yang menjadi tempat populer bagi warga Surabaya untuk bersantai sejak tahun 2010 hingga kini





(www.en.enyeko.com)

Gambar 2.8 Taman Pelangi di Jl. A. Yani, Surabaya yang menyusul kepopuleran Taman Bungkul



(www.transurabaya.com)

Gambar 2.9 Beberapa orang lanjut usia (Lansia) tengah menikmati pawai ketidat untuk terapi kesehatan di Taman Liris, Surabaya

Keberadaan taman kota di Indonesia membutuhkan perhatian dan pemeliharaan yang sangat ketat, mengingat masih rendahnya kesadaran masyarakat untuk menjaga objek-objek milik umum semacam ini. Tak ubahnya tata lanskap tingkat kota, tata lanskap lahan tertentu atau kaveling juga memiliki tujuan atau kepentingan yang hampir sama, yaitu sebagai paru-paru atau mungkin lebih tepatnya, *barrier* penyangkal hal-hal yang merugikan atau membahayakan sebelum masuk ke dalam bangunan. Dengan munculnya persoalan krisis energi, selain untuk tujuan tersebut, lanskap arsitektur juga sudah sepatutnya dirancang hemat energi dan menjaga kelestarian lingkungan.



(C.E. Mediastika)

Gambar 2.10 Tunda pelepasan dari padatnya arus lalu lintas di bundaran R. Mojen Sunghono dan H.R. Muhammad di Surabaya diserap oleh pepohonan dalam hutan kota yang menaungi bundaran tersebut

Lanskap arsitektur hemat energi (*energy-efficient landscaping*) adalah perancangan lanskap untuk tujuan penghematan energi, baik ketika lanskap tersebut tengah dikerjakan maupun ketika lanskap telah siap. Hasil akhirnya adalah tata lanskap yang mampu mendukung penghematan pemakaian energi pada bangunan. Pada saat pengerjaan lanskap, penghematan energi yang dimaksud mencakup pemilihan material pembentuk lanskap yang hemat energi, proses konstruksi yang hemat energi, serta pemeliharaan dan operasional lanskap yang hemat energi.

Penghematan dari aspek material yang dimaksud adalah penggunaan material yang mudah didapat secara lokal (menghemat angkutan material), penggunaan material siap pakai sehingga tidak memerlukan pengerjaan lanjutan (misalnya, penggunaan batu pecah dalam ukuran yang telah sesuai sehingga tidak perlu dipecah lagi), tidak boros secara harga, dan penghitungan kebutuhan material secara tepat agar tidak bersisa. Sementara proses konstruksi yang hemat meliputi proses pengerjaan yang hemat air dan pengerjaan tanpa bantuan peralatan yang signifikan (seharusnya digunakan material siap pakai sehingga tidak memerlukan pengolahan lanjutan). Penggunaan material yang sekiranya merusak lingkungan dan membutuhkan pemotongan lanjutan untuk mencapai ketepatan bentuk tertentu, seperti batu alam yang dipotong presisi (batu paras, palimanan, dan sebagainya), sebaiknya dihindari.

Selanjutnya, untuk mencapai pengolahan lanskap menuju kelestarian lingkungan, kita bisa mulai dengan menghindari tindakan segera/serta merta menebang pepohonan yang sudah ada di atas lahan. Setiap batang pohon yang sudah tumbuh besar adalah habitat bagi banyak makhluk hidup lainnya. Baik pohon maupun makhluk hidup yang hidup padanya memiliki siklus hidup tertentu dan saling menjaga keseimbangan lingkungan setempat. Penebangan sebuah pohon dapat mengganggu keseimbangan yang telah terjadi. Kehati-hatian dan pertimbangan yang matang saat membuka lahan yang ditumbuhi pepohonan dilakukan dengan memerhatikan empat aspek berikut.

1. Meneliti jenis, usia, kekuatan, dan penyebaran akar pohon yang tumbuh di atas lahan (Gambar 2.11).

2. Manakala pohon dalam keadaan baik dan memiliki sisa masa hidup cukup lama (tidak keropos, goyang, kulit terkelupas, kering, penyebaran akar dapat dikurangi sehingga tidak mengganggu proses konstruksi, dan sebagainya), pohon layak dipertahankan sebagai bagian dari lanskap ruang luar (Gambar 2.12). Pengurangan penyebaran akar perlu dilakukan secara hati-hati oleh para ahli agar bagian yang tepatlah yang terpotong sehingga tidak mengganggu proses penyerapan zat penting dari tanah oleh akar. Pemotongan akar secara terencana itu lebih baik daripada membiarkan pohon tidak ditebang, tetapi kemudian secara serampangan melakukan proses konstruksi yang melukai akar pohon tersebut.
3. Sekiranya posisi pohon sulit untuk dipertahankan karena akan mengganggu tapak bangunan, usahakan untuk mencari kompromi, apakah tapak bangunan masih dapat disesuaikan sehingga keberadaan pohon dapat dijaga (Gambar 2.13).
4. Sekiranya pohon sulit dipertahankan, rencanakan untuk menggantinya keberadaannya dengan pohon lain, namun dengan posisi tanam yang lebih sesuai.



(sumber: [alewtanierdelanoonline.com](http://alewtanierdelanoonline.com))

Gambar 2.11 Para ahli dari Institut Pertanian Bogor (IPB) tengah meneliti pohon dengan menggunakan alat ukur, ketelitian, dan sebagainya.



Agar memberikan tampilan lanskap arsitektur yang cantik dan seimbang, *ground cover* umumnya dikombinasikan dengan tanaman lain yang lebih tinggi, baik dari jenis semak, perdu, maupun pohon. Hal yang penting diperhatikan adalah usahakan untuk menggunakan tanaman yang bersifat lokal atau setidaknya iklimnya sesuai sehingga tanaman tumbuh subur tanpa menguras biaya dan tenaga untuk pemeliharaannya, termasuk menghemat energi dan air (Gambar 2.14). Tanaman yang berbunga cantik dan tumbuh subur di area dingin tentu tidak dapat dipaksakan untuk tumbuh di dataran rendah yang panas dengan matahari terik.



(Fransiskus, Eunike, dan Gloria)

Gambar 2.14 Penggunaan *ground cover* berupa rumput kurang sesuai untuk Wisma Jombang yang berlokasi di daerah kering Gunung Kidul, Yogyakarta sehingga sangat boros air untuk pemeliharaannya

#### 2.4.2 Penanaman Pohon sebagai Pembayang atau Peneduh Bangunan

Selain beberapa tanaman yang dipilih dalam tata lanskap sesuai dengan selera masing-masing, salah satu pertimbangan lain yang patut diterapkan dalam rangka penghematan energi adalah penggunaan pohon untuk fungsi pembayang atau peneduh. Penempatan pohon peneduh bertujuan untuk menciptakan iklim mikro di seputar bangunan. Iklim mikro adalah

iklim pada lapisan udara dekat dengan permukaan bumi, pada ketinggian sekitar 2 m dari atas permukaan bumi ([id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)). Iklim mikro berbeda dari iklim kawasan/kota secara umum atau disebut iklim makro karena iklim makro adalah iklim yang dicatat oleh kantor Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) setempat pada ketinggian ukur 10 m di atas permukaan bumi yang bebas hambatan atau objek penghalang. Perbedaan kedua iklim ini disebabkan oleh banyaknya objek yang ada di permukaan bumi pada ketinggian sekitar 2 m yang akan memengaruhi terjadinya perubahan suhu, kecepatan, dan arah angin, serta tingkat kelembaban. Objek-objek ini akan menyerap atau memantulkan sinar matahari yang jatuh padanya sehingga area di sekitarnya menerima perubahan suhu tersebut. Di sekitar objek, pada sisi yang terpapar sinar, suhu akan naik karena pemantulan dari objek tersebut, sementara pada sisi sebaliknya, suhu turun karena menerima pembayangan.

Kehadiran tanaman, terlebih pohon besar yang difungsikan sebagai peneduh, akan membuat suhu udara di bawah naungan tajuknya menjadi lebih rendah dari suhu udara di sekitarnya. Pohon peneduh dapat diperoleh dengan mempertahankan pohon yang sebelumnya telah ada, dan bila memungkinkan, tapak bangunan dirancang menyesuaikan keberadaan pohon ini. Bila tidak, pohon peneduh dapat ditanam pada posisi di depan bidang bukaan bangunan (pintu dan jendela) sehingga akan menurunkan suhu udara yang masuk ke dalam bangunan. Pepohonan juga dapat ditanam berdekatan dengan dinding yang diharapkan mampu menutupi paparan sinar matahari langsung ke arah dinding sehingga mengurangi masuknya panas melalui dinding.

Teknik penanaman pohon untuk memperoleh pembayangan tentulah dapat tercapai apabila kita menggunakan pepohonan besar yang tingginya disesuaikan dengan dinding bangunan yang hendak dibayangi. Namun demikian, besar atau tinggi pohon sebaiknya dibatasi karena selain memberikan pembayangan, pohon tinggi dengan tajuk yang lebar juga berpotensi memelihara kelembaban udara di bawahnya karena sinar matahari sulit menembus tajuk lebar. Kelembaban tinggi akibat pohon peneduh yang terlalu lebar sebaiknya dihindari karena pada area dengan tingkat kelembaban tinggi, udara menjadi kurang sehat; bakteri, kuman, dan binatang-binatang kecil sangat mudah berkembang biak. Sebaiknya

dipilih pohon dengan ketinggian yang cukup agar tetap dapat mengalirkan udara dan tajuk daun tidak terlampau lebat, seperti kirai payung (*Felicium decipens*) dan ketapang (*Terminalia catappa*). Selain kirai payung dan ketapang, untuk memperoleh tampilan yang cantik, pohon berbunga seperti kamboja (*Plumeria rubra*) juga dapat dipilih sebagai peneduh, apalagi bila telah tumbuh lebat. Penanaman pohon besar secara langsung pada bagian bangunan sebaiknya dihindari karena sangat berpotensi membebani struktur bangunan dan merusak bagian-bagian bangunan (Gambar 2.18).

Pohon peneduh sebaiknya diletakkan pada jarak yang tidak terlalu rapat dari bangunan, setidaknya 2–3 m, agar ada cukup ruang bagi akar dan tajuk daun untuk tumbuh tanpa menaung di atas atap. Penaungan di atas sebaiknya dihindari untuk mengurangi kemungkinan rusaknya atap oleh cabang atau ranting yang patah, dan tersumbatnya talang atau saluran air oleh dedaunan. Pohon yang terlalu tinggi dengan tajuk daun jarang seperti glodogan (*Polyalthia longifolia*) sebaiknya tidak dipilih karena pertimbangan penaungan yang minim.

Pohon-pohon besar dengan tajuk daun lebat, seperti trembesi (*Samanea saman*), lebih sesuai ditanam pada skala lanskap kota atau kawasan karena persebaran akarnya dapat merusak fondasi dan dinding bangunan (Gambar 2.15). Area penyebaran akar suatu tanaman umumnya seluas naungan percabangan dan tajuk daunnya sehingga secara mudah kita bisa memperkirakan apakah penyebaran akar suatu pohon telah mencapai fondasi atau dinding.

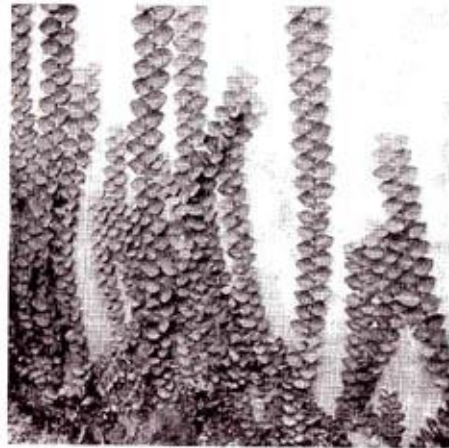


(mbelgedez.com)

Gambar 2.15 Pohon trembesi (*Samanea saman*) dengan naungan tajuk daun yang luas lebih sesuai untuk peneduh skala kawasan atau kota, bukan pada lahan pribadi yang sempit

Pada bangunan tinggi, teknik pembayangan atau penaungan akan sulit diterapkan sehingga cara yang paling memungkinkan adalah dengan mengurangi penyerapan radiasi matahari oleh dinding atau bidang transparan bangunan melalui tanaman yang diletakkan secara melekat atau terintegrasi dengan bangunan. Untuk melindungi dinding dari paparan sinar matahari dapat ditempuh sistem tanaman merambat atau tanaman dalam pot yang ditata pada rangka di depan dinding (Gambar 2.16 dan 2.17). Penggunaan tanaman rambat lebih hemat energi karena akar tanaman tetap berada di tanah sehingga tidak diperlukan pemeliharaan hebat untuk penyiramannya. Sementara tanaman dalam pot yang diletakkan pada rangka membutuhkan penyiraman sampai ke bagian atas pada tiap tiap potnya. Namun, sekalipun secara penyiraman tanaman rambat lebih hemat energi, pada tiap kurun waktu tertentu tanaman rambat, seperti dolar-dolaran (*Ficus pumila* dan *Ficus repens*), juga membutuhkan pemangkasan agar tampilannya menjadi lebih rapi dan dinding tempat tumbuhnya tidak terlalu lembab. Sementara itu, tanaman dalam pot hampir tidak memerlukan pemangkasan karena media tumbuhnya terbatas.





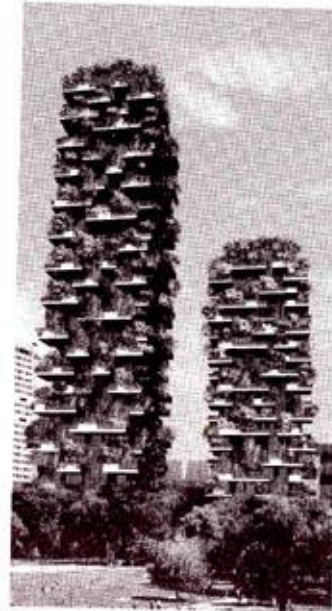
(ornamenlandscape.blogspot.com)

Gambar 2.16 Tanaman rambat jenis dolar-dolaran saat mulai tumbuh di dinding



(hejogeulis.files.wordpress.com)

Gambar 2.17 Dinding yang telah diliputi dolar-dolaran akan mampu meredam tekanan matahari agar tidak menembus dinding



(www.inhabitat.com)

Gambar 2.18 Pembayangan dinding pada bangunan tinggi di Milano, Italia. Gedung Bosco Verticale ini masih dalam perencanaan. Gambar di atas adalah simulasi. Patut dipertanyakan kesiapan kekuatan konstruksi bangunan manakala pepohonannya tumbuh lebat

### 2.4.3 Penggunaan Pemecah atau Penghalang Angin agar Energi di dalam Bangunan Tidak Lekas Hilang

Pada beberapa lokasi dengan kecepatan hembusan angin yang sangat tinggi, lanskap arsitektur juga dapat diatur sedemikian rupa untuk menyediakan pemecah atau penghalang angin. Pemecah angin dapat berupa dinding buatan yang sengaja ditempatkan di sisi sisi bangunan. Namun, pemecah angin yang lebih alamiah dan ramah lingkungan adalah pepohonan. Pepohonan bergerak secara elastis mengikuti perubahan arah

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum yang dituangkan dalam Permen PU No. 5/PRT/M/2008, jenis-jenis tanaman yang cocok digunakan pada atap hijau adalah sebagai berikut.

1. Tanaman tidak berakar dalam sehingga mampu tumbuh baik dalam pot atau bak tanaman.
2. Relatif tahan terhadap kekurangan air.
3. Perakaran dan pertumbuhan batang tidak mengganggu struktur bangunan.
4. Tahan dan tumbuh baik pada suhu yang tinggi (panas).
5. Mudah dalam pemeliharaan.

Contoh-contoh tanaman untuk atap hijau menurut peraturan tersebut disajikan pada TABEL 2.1.

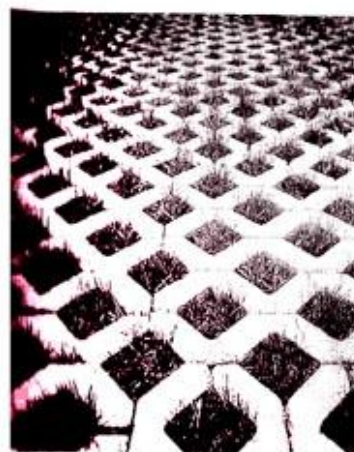
TABEL 2.1 Tanaman untuk atap hijau (Permen PU No. 5/PRT/M/2008)

Jenis	Tanaman	Nama Latin	Keterangan
perdu/semak	akalipa merah	<i>Acalypha wilkesiana</i>	Daun berwarna
	nusa indah merah	<i>Mussaenda erythrophylla</i>	Berbunga
	daun mangkokan	<i>Metophranx scutellarium</i>	Berdaun unik
	bogenvil merah	<i>Bougenvillea glabra</i>	Berbunga
	azalea	<i>Rhododendron indicum</i>	Berbunga
	soka daun besar	<i>Inura javanica</i>	Berbunga
	bakung	<i>Crinum asiaticum</i>	Berbunga
	oleander	<i>Nerium oleander</i>	Berbunga
	palem kuning	<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	Daun berwarna
	sikas	<i>Cycas revoluta</i>	Bentuk unik
	alamanda	<i>Allamanda cathartica</i>	Merambat berbunga
	puring	<i>Codiaeum variegatum</i>	Daun berwarna
penutup permukaan	kembang merak	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Berbunga
	rumpun gajah	<i>Axonopus compressus</i>	Tekstur kasar
	lantana ungu	<i>Lantana camara</i>	Berbunga
	rumpun kawat	<i>Cynodon dactylon</i>	Tekstur sedang

#### 1.4.5 Mengurangi Perkerasan dan Menggunakan Perkerasan yang Menyerap Air

Keberadaan perkerasan pada area terbuka tentu dibutuhkan, terutama untuk akses/jalan setapak. Namun demikian, keberadaan perkerasan ini sebaiknya dijaga agar tidak dominan atau terlalu banyak memakan area hijau. Selain itu, hendaknya digunakan perkerasan yang jenisnya mampu melewatkan air sehingga air dapat terserap ke dalam tanah (Gambar 2.23).

Pada lahan yang terbatas ada kalanya ruang terbuka yang ada juga dimanfaatkan sebagai area parkir, tidak hanya sebagian, namun hampir seluruhnya. Pada keadaan ini hendaknya dipilih perkerasan yang mampu menahan beban kendaraan, namun juga meresapkan air, seperti *grass block*. Perkerasan buatan lainnya yang terdiri atas susunan batuan tanpa semen juga dapat dipilih, namun kekuatannya untuk menahan beban kendaraan kurang terjamin sehingga mudah pecah (Gambar 2.23).



(www.any.murks.com)

(a)



(ldtotal.com.au)

(b)

Gambar 2.23 Perkerasan rumput blok (*grass block*) (a) dan lokal yang terbuat dari susunan batu bata untuk trotoar (*grass block*) (b)



Selain kemampuan menyerap air, penggunaan perkerasan sebaiknya juga mempertimbangkan material yang memiliki permukaan tidak memantul secara penuh. Hal ini untuk menghindari terjadinya pemantulan panas matahari ke dalam bangunan/ruangan dan juga untuk menghindari timbulnya silau. Material keras yang berpeluang tersentuh tangan atau kaki sebaiknya juga tidak dibuat dari material yang mudah menyerap panas karena dapat membahayakan. Misalnya, pegangan tangan dan bangku taman yang terbuat dari logam sebaiknya dihindari (Gambar 2.24).



(www.garlicpro.com)

Gambar 2.24 Bangku taman yang terbuat dari logam seperti aluminium memang tahan lama. Namun, dalam kondisi panas terik, kulit dapat melepuh ketika menyentuhnya. Tidak sesuai digunakan untuk taman publik yang berpotensi dikunjungi anak-anak

#### 2.4.6 Penyediaan Elemen Air

Pada lahan yang berada di negara tropis, selain iklim mikro yang dapat diperoleh dari pohon pembayang/peneduh, keberadaan elemen air pada tata lanskap dapat menjadi pertimbangan untuk membantu terciptanya iklim mikro. Munculnya elemen air juga dapat menambah estetika lanskap. Namun, kembali pada perhatian akan penghematan air dan energi, sebaiknya dipilih rancangan elemen air yang tidak memerlukan pembersihan/pengurasan terlalu sering (Gambar 2.26). Kolam dengan air

yang dibuat selalu mengalir dan dilengkapi ikan merupakan elemen air pada lanskap yang hemat pemeliharaan (Gambar 2.25).



(Pearson, 1998)

Gambar 2.25 Elemen air mengalir pada lanskap. Hemat pemeliharaan, mendukung terciptanya iklim mikro sekaligus menimbulkan efek bunyi yang menyejukkan. Energi pompa dapat diperoleh dari panel surya yang dipasang setempat



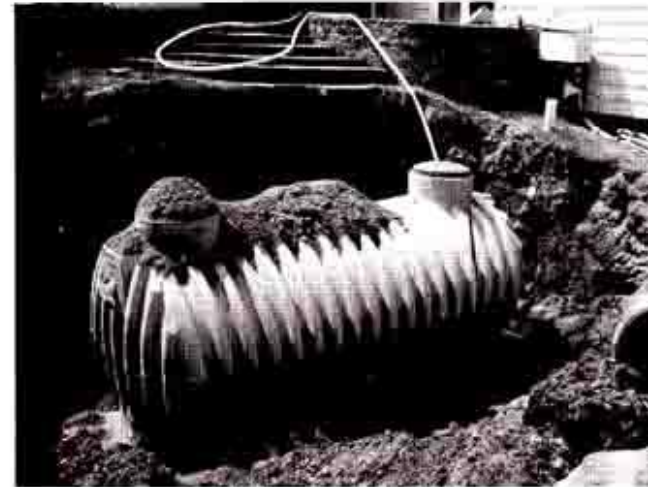
(Pearson, 1998)

Gambar 2.26 Kolam air diam cenderung menjadi objek yang boros pemeliharaan dan berpotensi menjadi tempat berkembangbiaknya jentik-jentik nyamuk

## 2.6 PENGELOLAAN BUANGAN KE LAHAN

Setiap bangunan yang digunakan untuk menampung kegiatan manusia dipastikan menghasilkan zat buang atau limbah. Limbah bangunan dapat berupa limbah padat dan cair. Bangunan yang memerhatikan kelestarian lingkungan tentu dirancang agar limbah tersebut dibuang di dalam area lahan sendiri, bukan ke lahan tetangga atau dikumpulkan dalam skala kota. Pembuangan limbah ke lahan sendiri akan menumbuhkan sikap hati-hati dan tanggung jawab karena pembuangan tersebut membutuhkan pemeliharaan. Namun demikian, agar tidak mencemari tanah dan lingkungan, tata cara pembuangan limbah di lahan perlu diatur dan dirancang sedemikian rupa. Prinsip dasarnya adalah tidak membuang limbah secara langsung ke lahan, namun melalui proses pengolahan terlebih dahulu, terutama untuk limbah cair yang akan secara langsung diserap oleh tanah.

Limbah dari WC seyogianya disalurkan melalui pipa yang baik ke tangki septik (*septic tank*) sebelum disalurkan ke sumur peresapan di lahan. Material saluran pembuangan dipilih dari bahan yang bermutu baik untuk mencegah terjadinya pecah saluran akibat pampat atau belokan saluran yang kurang baik. Sementara itu, tangki septik yang baik terbuat dari material yang tidak rembes dan memungkinkan bakteri pengurai bekerja secara sempurna sehingga tangki tidak cepat penuh. Tangki septik yang terbuat dari bata atau beton dengan lapisan antirembes (Belanda: *trabecum*) sering kali dianggap cukup baik. Namun, seiring masa pemakaian, retak dan perembesan dapat pula terjadi. Untuk menghindari terjadinya retakan atau perembesan pada tangki septik, kini ditawarkan pula tangki septik siap pakai yang terbuat dari material fiber atau plastik yang lebih tahan lama dan bebas rembes (Gambar 2.33).

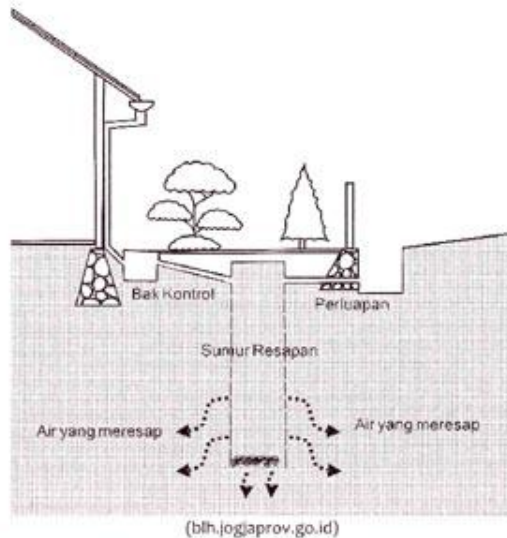


(wastewatertreatmentplant.org)

Gambar 2.33 Tangki septik dari material fiber siap ditanam di tanah.

Selain dari WC, limbah cair bangunan juga berasal dari kamar mandi, wastafel, dan tempat cuci pakaian. Limbah cair ini mengandung sabun sehingga harus diproses terlebih dahulu dalam bak penangkap busa/sabun sebelum dialirkan ke sumur resapan. Demikian pula dengan limbah cair yang mengandung lemak dari bak pencuci piring. Sumur resapan di lahan perlu dibedakan antara sumur resapan limbah dan air hujan agar limbah tidak meluap ketika musim hujan. Konstruksi sumur resapan sangat beragam, namun prinsipnya adalah melakukan penyaringan sebelum air meresap ke dalam tanah (Gambar 2.34). Lapisan penyerap, baik pada dinding maupun dasar sumur, dapat terdiri atas tatanan batu bata, batu, kerikil, pasir, ijuk, arang, dan sebagainya, disesuaikan dengan karakteristik lapisan tanah setempat.





Gambar 2.34 Skematik sumur resapan yang terdapat pada lahan suatu bangunan

Limbah padat yang berupa sampah dari kegiatan manusia dalam bangunan seyogianya dipisahkan antara sampah organik dan nonorganik. Pemanfaatan sampah organik menjadi bioenergi adalah cara yang paling ideal. Sementara sampah nonorganik dapat dipilah-pilah untuk dicermat mana yang masih dapat dimanfaatkan kembali. Pengelolaan sampah pada bangunan akan dibahas secara lebih terperinci pada Bab X.

## 2.7 KESIMPULAN

Melalui pengelolaan lahan yang tepat, penghematan penggunaan energi pada bangunan dapat berlangsung maksimal secara terus-menerus dan pencemaran terhadap lingkungan dapat dikurangi. Sekalipun tampak remeh dan sering kali tidak dipertimbangkan dengan matang, melalui paparan pada bab ini, cukup jelas bahwa banyak hal penting perlu diperhatikan dalam pengelolaan lahan. Faktor utama untuk mencapai tata lanskap yang efektif dan lestari seiring dengan penggunaan bangunan

adalah vegetasi (tanaman) yang tepat, perhitungan kebutuhan cahaya, penghematan dalam penggunaan air, dan pemakaian material hemat energi dan ramah lingkungan, termasuk teknik dan material pengelolaan limbah.

## **BAB VI**

### **PENERAPAN PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN**

Pencahayaan pada bangunan adalah aspek yang sangat penting. Keberadaan cahaya yang mencukupi di dalam bangunan akan berdampak pada peningkatan fungsi bangunan secara maksimal. Artinya, bangunan tidak hanya dapat difungsikan pada siang hari, tetapi juga pada malam hari manakala matahari tidak bersinar. Bahkan, sering kali dijumpai pula, pada siang yang terik ada bangunan atau ruangan di dalam bangunan yang cenderung gelap sehingga membutuhkan pencahayaan buatan. Hampir setiap kegiatan manusia membutuhkan cahaya. Tingkat terang cahaya yang diperlukan berbeda-beda sesuai dengan jenis kegiatan yang tengah dilakukan. Keberadaan cahaya di dalam bangunan menjadi penting karena bidang-bidang pembatas/pembentuk bangunan seperti dinding, lantai, dan plafon juga menjadi pembatas bagi masuknya cahaya alamiah, yaitu dari matahari dan bulan. Dengan perencanaan dan perancangan yang tepat, cahaya matahari dan bulan dapat diteroboskan ke dalam bangunan sehingga keadaan di dalam bangunan menjadi terang. Memanfaatkan sinar matahari dan bulan secara maksimal akan sangat mendukung terjadinya penghematan energi. Bab ini memaparkan faktor dan teknik pencahayaan yang tepat untuk memudahkan penentuan jenis pencahayaan mana yang sesuai untuk suatu bangunan.



Silau dibedakan menjadi dua, yaitu *disability glare* dan *discomfort glare* (Szokolay, 1980 dan Robbins, 1986). *Disability glare* adalah silau yang menyebabkan mata tidak mampu melihat atau membedakan mana objek dan latar belakangnya, tetapi tidak menimbulkan perih di mata atau pening, sedangkan *discomfort glare* adalah silau yang menimbulkan ketidaknyamanan secara fisik, terutama pada mata, meskipun tidak selalu menghilangkan kemampuan untuk melihat. Kedua jenis silau ini sebaiknya kita hindari, terutama *discomfort glare*.

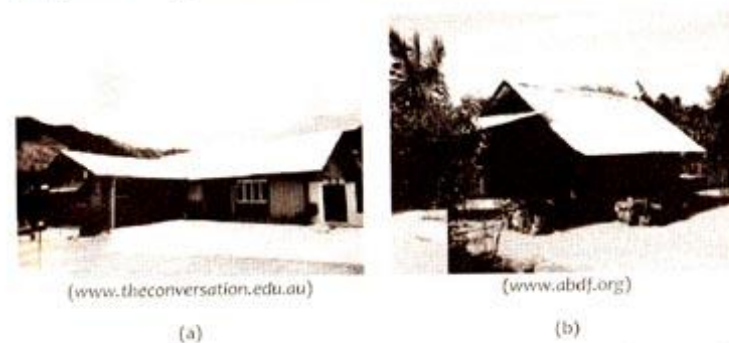
Silau dapat ditimbulkan baik oleh pencahayaan alami maupun pencahayaan buatan. Namun, mengingat kuat terang cahaya buatan jauh di bawah cahaya matahari, cahaya matahari lebih berpotensi menimbulkan silau. Silau yang terjadi karena cahaya matahari yang masuk ke dalam bangunan dapat dikurangi dengan berbagai cara, misalnya

- Menempatkan teritis atau kanopi di depan bidang bukaan.
- Memperbesar atau menambah bidang bukaan (terutama pada arah yang berbeda atau berlawanan) agar masuknya cahaya lebih merata dan leluasa.
- Menjauhkan bidang kerja di dalam bangunan atau ruangan dari bidang bukaan.
- Mengurangi kontras antara ruang luar dan dalam dengan penggunaan lantai, plafon, dan cat dinding berwarna terang pada ruangan.

Beberapa cara di atas digunakan untuk mengurangi terjadinya silau langsung (*direct glare*) yang disebabkan oleh sinar yang terlampau terang. Sementara itu, untuk menghindari silau tak langsung (*indirect glare*) atau silau yang disebabkan oleh permukaan yang terkena sinar, kita bisa mengganti atau melapisi bidang dengan permukaan yang tidak berkilap (*matte finish*) atau permukaan yang tidak memantul (warna gelap).

Silau yang disebabkan oleh permukaan dengan tingkat pemantulan tinggi seperti yang digunakan dalam teknik *sun reflecting roof* sebaiknya dihindari. *Sun reflecting roof* adalah penggunaan material penutup atap yang mampu secara maksimal memantulkan kembali cahaya dan panas matahari agar tidak masuk ke dalam bangunan melalui penutup atap. Di

satu sisi, atap jenis ini memberikan manfaat bagi bangunan penggunanya (menurut [brushworkpainting.com.au](http://brushworkpainting.com.au), mampu menurunkan suhu dalam ruang 20°C-40°C), namun di sisi lain, dapat merugikan penghuni bangunan lain di sekitarnya. Silau yang hebat akan diderita oleh bidang bukaan pada bangunan yang posisinya lebih tinggi dari bangunan yang beratapakan *sun reflecting roof* (Gambar 6.2). Begitu pula, akan menyilaukan bagi penerbangan berketinggian rendah (seperti pesawat latih, helikopter, dan sebagainya). Untuk menurunkan suhu di dalam bangunan, penggunaan *roof garden* lebih disarankan daripada *sun reflecting roof*.



Gambar 6.2 Jenis atap yang memantulkan cahaya matahari atau the *sun reflecting roof*. sekalipun memberikan manfaat yang besar pada aspek pengudaraan melalui penurunan suhu udara di dalam bangunan, penggunaan material yang tidak tepat akan menimbulkan silau pada bangunan lain. Atap pemantul dapat diperoleh melalui bidang atap yang dicat putih (a) atau melalui material atap yang berkilat memantul seperti seng (b)

TABEL 6.2 Kriteria silau dan indeks silau  
(Koenigsberger et al, 1973; Szokolay, 1980; Robbins, 1986)

No.	Jenis Pekerjaan	Indeks Silau Maksimum	Rata-Rata Tanggapan terhadap Indeks Silau Maksimum
1.	Pekerjaan dengan tingkat ketelitian luar biasa (pekerjaan dengan objek yang sangat kecil, seperti membuat atau memperbaiki jam, membuat perhiasan)	10	Tidak dapat diterima

No.	Jenis Pekerjaan	Indeks Silau Maksimum	Rata-Rata Tanggapan terhadap Indeks Silau Maksimum
2.	Pekerjaan dengan tingkat ketelitian amat tinggi dalam jangka waktu lama (seperti memotong permata)	13–16	Cukup dapat diterima
3.	Pekerjaan dengan tingkat ketelitian tinggi (seperti menyusun manik-manik)	16–22	Dapat diterima
4.	Pekerjaan dengan tingkat ketelitian sedang dengan objek kecil (seperti menjahit)	19–22	Dapat diterima
5.	Pekerjaan dengan tingkat ketelitian cukup, objek berukuran sedang (seperti memasak)	25	Tidak nyaman
6.	Pekerjaan kasar, objek besar (seperti menata ruangan)	25–28	Tidak nyaman
7.	Memandang secara biasa (sehari-hari)	28	Tidak dapat ditoleransi

## 6.2 TEKNIK-TEKNIK PEMENUHAN CAHAYA ALAMI YANG BAIK

Di negara tropis seperti Indonesia yang berkelimpahan cahaya matahari, sudah semestinya kelebihan ini dimanfaatkan secara maksimal. Namun, karena posisinya sebagai negara tropis, cahaya matahari yang datang juga disertai dengan panas. Panas matahari pada beberapa hal juga dapat menimbulkan kerugian. Oleh karenanya, siasat pencahayaan alami yang tepat sangat penting diterapkan.

Secara sederhana kita umumnya memahami bahwa sinar matahari yang dapat dimanfaatkan untuk menyinari ruangan dalam secara langsung adalah cahaya pagi hari. Sementara itu, cahaya langsung matahari pada sore hari harus dicegah agar tidak masuk ke dalam ruangan. Cahaya pagi, dimulai sejak terbit hingga sekitar pukul 08.00, adalah cahaya yang baik bagi manusia. Bagi bayi dan orang tua, paparan cahaya pagi dapat meningkatkan daya tahan tubuh. Berikut ini dipaparkan manfaat sinar matahari pagi bagi manusia ([www.murnialami.com](http://www.murnialami.com)).

1. Membantu produksi vitamin D, menekan kolesterol, dan mengurangi risiko kanker.

Tubuh yang terpapar sinar matahari pagi selama 10–15 menit bisa menghasilkan vitamin D. Vitamin ini meningkatkan penyerapan kalsium di usus dan transfer kalsium di membran sel yang berguna untuk kekuatan tulang. Setelah kolesterol di bawah kulit diubah menjadi vitamin D, otak dan tubuh kemudian memberikan perintah pada kolesterol yang ada dalam darah untuk keluar dari darah menuju ke kulit. Dari proses inilah kadar kolesterol dalam darah dapat dikontrol dengan baik. Sintesis vitamin D dirangsang oleh sinar matahari sehingga secara nyata membantu mengurangi risiko berbagai bentuk kanker, seperti prostat, usus besar, payudara, dan ovarium.

2. Memperkuat sistem kekebalan tubuh dan merangsang detoksifikasi.

Sinar matahari mendukung sistem kekebalan tubuh karena saat terpapar sinar, tubuh akan memproduksi lebih banyak sel darah putih yang membantu menangkal infeksi dan penyakit lain yang dihasilkan oleh bakteri, jamur, atau virus. Sinar matahari mampu membunuh bakteri, virus, dan juga jamur. Pada perawatan TBC, erisipelas, keracunan darah, peritonitis, pneumonia, dan asma, terapi sinar matahari sangat dibutuhkan. Bahkan, beberapa virus penyebar kanker dapat dibinasakan oleh sinar ultraviolet matahari. Infeksi jamur, termasuk candida, juga dapat dibinasakan oleh sinar matahari.

Saat kulit terkena sinar matahari, terjadi penambahan sel darah putih, terutama limfosit, yang digunakan untuk menyerang penyakit. Secara tidak langsung antibodi pun akan meningkat. Kondisi ini akan bertahan hingga 3 minggu. Menurut penelitian, 10 menit di bawah matahari pagi satu sampai dua kali seminggu dapat mengurangi risiko terkena influenza hingga 30–40%. Sinar matahari membantu mengeluarkan sampah dari dalam tubuh dengan meningkatkan fungsi hati serta meningkatkan sirkulasi darah sehingga pembuangan sampah melalui darah menjadi lebih efisien.



Selain cahaya matahari, penghuni bumi dapat memanfaatkan cahaya bulan pada malam hari. Namun, tingkat terang cahaya bulan sangat jauh di bawah tingkat terang cahaya matahari dan tidak tetap keberadaannya sehingga sekalipun ada cahaya bulan, kita cenderung tidak dapat memanfaatkannya secara maksimal. Oleh karenanya, dalam pembahasan ini cahaya bulan dapat kita abaikan.

### 6.2.1 Teknik Pencahayaan Alami di luar Ruangan

Area luar ruangan secara otomatis terpapar sinar matahari. Sesungguhnya pembatasan sinar matahari tidak saja perlu dilakukan untuk dalam ruangan, tetapi juga luar ruangan. Area terbuka di sekitar bangunan yang terpapar panas matahari secara berlebihan justru berpotensi menimbulkan kerugian, misalnya

- Munculnya silau saat matahari bersinar terik ke area terbuka yang berpermukaan keras dan berwarna terang.
- Panas matahari memantul ke dalam bangunan karena pemakaian perkerasan luar ruang yang kurang tepat, seperti aspal dan logam.
- Tanaman tertentu pada tata lanskap menjadi kuning, kering, dan layu.
- Paparan sinar matahari yang langsung mengenai dinding membuat cat pudar dan mengelupas. Kayu menjadi kusam dan mengalami muai-susut hebat.

Memerhatikan beberapa kerugian yang ditimbulkan ketika ruang luar dibiarkan menerima terik matahari, maka efek pembayangan atau peneduhan menjadi penting. Efek pembayangan dapat diperoleh dari kanopi-kanopi. Kanopi paling alamiah adalah kanopi yang diperoleh dari tajuk daun pepohonan. Tentulah tidak semua bagian luar ruang ditanami pohon besar yang mampu menaungi, namun cukup pada beberapa titik strategis saja. Penanaman pohon pembayang yang terlalu banyak justru akan menimbulkan kelembaban yang tinggi pada area luar ruang dan kurangnya sinar matahari yang akan masuk ke dalam bangunan. Penanaman pohon peneduh sebaiknya berada di atas perkerasan yang digunakan sebagai peneduh jalur sirkulasi, pada area duduk ruang luar, berdekatan dengan

jendela dan lubang bukaan, dan sebagai pelindung tanam-tanaman rendah yang tidak tahan terik matahari, seperti talas-talasan (*Hamalomena sulcata*, Gambar 6.4) dan jenis sirih-sirihan, seperti sirih gading (*Scindapsus sp.*).



(C.E. Mediastika)

Gambar 6.4 Talas-talasan adalah tanaman luar yang sedikit rewel. Bila terlalu terik, daun akan hangus (gosong). Namun, bila terlalu teduh, tanaman tidak akan berbunga. Tanaman ini memerlukan teknik peneduhan yang sesuai

### 6.2.2 Teknik Pencahayaan Alami di dalam Ruangan

Sinar matahari masuk ke dalam bangunan atau ruangan melalui bidang bukaan atau bidang tertutup yang transparan. Bidang ini dapat diletakkan secara horizontal atau semihorizontal, yaitu pada posisi atap, dan secara vertikal atau semivertikal pada dinding. Jenis bukaan atau bidang transparan yang akan digunakan sangat bergantung pada banyak faktor.

Sebagaimana dipaparkan sebelumnya, jumlah dan lamanya sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan perlu dibatasi, terutama sinar matahari langsung. Setelah sekitar pukul 08.00, bangunan sebaiknya hanya menerima cahaya dari kubah langit (cahaya tidak langsung). Cahaya matahari langsung yang masuk ke dalam bangunan setelah pukul 08.00 akan menimbulkan beberapa kerugian, yaitu

- Suhu udara di dalam ruangan meningkat karena dipanaskan sinar matahari.

<i>Reuse</i>	: menggunakan kembali objek yang sudah dianggap sampah
RON	: <i>research octane number</i> , salah satu angka oktan yang diperoleh dari simulasi kinerja asupan bahan bakar ke mesin saat mesin dioperasikan dalam kondisi biasa/normal
RTH	: ruang terbuka hijau, area atau lahan terbuka yang ditanami tumbuh-tumbuhan
Sempadan	: garis batas dinding terluar bangunan terhadap (yang dihitung dari garis luar) lahan
<i>Tidal energy</i>	: energi dari pasang-surut air laut
Topiari	: teknik memangkas daun pohon menjadi tiruan bentuk-bentuk tertentu
<i>Unleaded petrol</i>	: bahan bakar minyak tanpa timbel (Pb)
<i>Urban farming</i>	: cara bercocok tanam pada keterbatasan lahan perkotaan dengan menggunakan tata cara tertentu yang praktis dan tidak selalu tergantung pada tanah sebagai media tanam
Vegetasi	: tanaman
Ventilasi	: pertukaran udara, mengalirnya udara dari luar ruang ke dalam ruang dan sebaliknya
Ventilasi silang	: ventilasi dengan bukaan berhadapan yang membiarkan udara mengalir secara langsung
<i>Xeriscaping</i>	: penataan lanskap ruang luar dengan teknik minimum air atau taman kering
Zonasi	: sistem pengelompokan area atau daerah berdasarkan peruntukan bangunan

## DAFTAR PUSTAKA

- Basriyanta. 2007. *Memanen Sampah*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Boonyatikarn, S. 2004. *Bio-solar home: It is Powered by the Sun*. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Boxwell, Michael. 2010. *Solar Electricity Handbook*. London: Greenstream Publishing.
- Costa, P. dan James, R.W. 1995a. "Constructive Use of Vegetation in Office Building". Paper for symposium, 23 Nov 1995 at the Hague, Belanda (di [www.pawa.org.nz](http://www.pawa.org.nz)).
- . 1995b. "Environmental Engineering Benefit of Plants". Proceeding of the Workplace Comfort Forum, London, UK.
- Dahlan, Endes N. 2004. *Membangun Kota Kebun (Garden City) Bernuansa Hutan Kota*. Bogor: IPB Press dan Sekolah Pascasarjana IPB.
- Don, W.S. et al. 2000. *Seri Rumah Kebun: Rahasia Kebun Asri*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2004. *Potensi Energi Terbaharukan di Indonesia*. Jakarta
- Egan, M. David. 2007. *Architectural Acoustic*. Florida: Jrosspublishing.
- Periadi, Henry dan Heinz Frick. 2008. *Atap Bertanaman: Ekologis dan Fungsional*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.



- Frick, Heinz dan Suskiyatno. 2007. *Dasar-Dasar Arsitektur Ekologis*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Grey, Gene W. dan Frederick J. Deneke. 1986. *Urban Forestry*. Second Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Haase, Matthias dan Alex Amato. 2006. "Ventilated Façade Design in Hot and Humid Climate". PLEA 2006, The 23<sup>rd</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Jenewa, Swiss, 7-8 September 2006.
- Hurlock, Elizabeth B. 1978. *Child Development*. New York: McGraw-Hill Co.
- Instruksi Presiden No. 10 Tahun 2005 tentang Penghematan Energi.
- Instruksi Presiden No. 2 Tahun 2008 tentang Penghematan Energi dan Air.
- Irwanto. 2006. "Pengaruh Perbedaan Naungan terhadap Pertumbuhan Semai *Shorea sp.* di Persemaian". Disertasi Program Master pada Jurusan Ilmu-Ilmu Pertanian, Program Studi Ilmu Kehutanan, Sekolah Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Iswanto. "Pengolahan Sampah Menjadi Barang Tepat Guna (Pengalaman di Kampung Sukunan, Gamping, Sleman)". Makalah Seminar Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 7 Mei 2012.
- Janis, Richard dan William Tao. 2005. *Mechanical and Electrical System in Buildings*. Edisi ke-3. New Jersey: Pearson-Pentice Hall.
- Juwana, Jimmy S. 2005. *Panduan Sistem Bangunan Tinggi*. Jakarta: PT Penerbit Erlangga.
- Karyono, Tri Harso. 2010. *Green Architecture: Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*. Jakarta: Rajawali Press.
- Keraf, Sonny A. 2010. *Krisis dan Bencana Lingkungan Hidup Global*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

- Koenigsberger, O.H. *et al.* 1973. *Manual of Tropical Housing and Building*. Bombay: Orient Longman.
- Kong, Gan Thai. 2010. *Peran Biomassa bagi Energi Terbarukan*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Lakitan, Benyamin. 2002. *Dasar-Dasar Klimatologi*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Lechner, Norbert. 1991. *Heating, Cooling, Lighting (Design Methods for Architect)*. New York: John Wiley and Sons.
- Lovelock, James. 2000. *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*. Oxford: Oxford University Press.
- \_\_\_\_\_. 2007. *The Revenge of Gaia*. Oxford: Oxford University Press.
- Maeda, Martha. 2011. *How to Solar Power Your Home*. Florida: Atlantic Publishing Group.
- McMullan, Randall. 1992. *Environmental Science in Buildings*. London: Macmillan.
- Mediastika, C.E. 2000. "Design Solution for Naturally Ventilated Low Cost Housing in Warm Humid Climate with Reference to Particulate Matter and Noise Reduction". Ph.D. Dissertation, University of Strathclyde, Glasgow.
- \_\_\_\_\_. 2001. "Pembentukan Kawasan dengan Sistem Tetangga Menuju Pembentukan Kota Mandiri". Prosiding Lokakarya Nasional Badan Kerja Sama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL), Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- \_\_\_\_\_. "Rumah GAIA: Rumah Tanggap Lingkungan". *Harian Kompas*, 20 Juli 2003.
- \_\_\_\_\_. "Lampu Jalan: Antara Fungsi dan Estetika". *Harian Kompas*, 4 April 2004.
- \_\_\_\_\_. "Arsitektur Berkesinambungan: Langkah Jitu Penghematan Energi". *Harian Kompas*, 21 Agustus 2005.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Akustika Bangunan*. Jakarta: PT Penerbit Erlangga.

- \_\_\_\_\_. 2005. *Menuju Rumah Ideal, Nyaman dan Sehat*. Yogyakarta: Penerbit Atma Jaya.
- \_\_\_\_\_. "Belajar dari Negeri Tetangga". *Harian Kompas*, 3 November 2009.
- \_\_\_\_\_. 2009. *Material Akustik*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Mediastika, C.E. *et al.* 2010/2011. "Persepsi dan Fakta terhadap Penggunaan Tanaman untuk Mereduksi Kebisingan". Laporan penelitian hibah kompetensi DIKTI tahun I dan II.
- Mulyani, Siti Fatimah R. "Pengelolaan Sampah". Makalah Seminar Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 7 Mei 2012.
- Neufert, Ernst *et al.* 2000. *Architect Data*. Third Edition. New York: Blackwell Science.
- Oesterle, E. *et al.* 2001. *Double Skin Facades-Integrated Planning*. Munich: Prestel Verlag.
- Pearson, David. 1998. *The New Natural House Book*. London: Conran Octopus Limited.
- Peraturan Menteri ESDM No. 0031/22 Juli 2005 tentang Tata Cara Penghematan Energi yang Terkait dengan AC.
- Peraturan Menteri Kesehatan No. 414/1990 tentang Kualitas Air.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 5/PRT/M/2008 tentang Ruang Terbuka Hijau.
- Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005, tentang pengaturan pelaksanaan UU No. 28 Tahun 2002, tentang Bangunan Gedung, 10 September 2005.
- Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi.
- Poerbo, Hartono. 2007. *Utilitas Bangunan*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Pudjiastuti, Lily *et al.* 1997/1998. "Kualitas Udara dalam Ruang". DIKTI.
- Robbins, Claude L. 1986. *Daylighting: Design and Analysis*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

- Santoso, Alb. Joko. 2009. *Konservasi Energi*. Yogyakarta: Pusat Studi Energi dan Penerbit Atma Jaya Yogyakarta.
- Satwiko, Prasasto. 2005. *Arsitektur Sadar Energi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Sejati, Kuncoro. 2009. *Pengolahan Sampah Terpadu*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Singh, R. K. and Misra. 2005. *Biofuels from Biomass*. Rourkela: Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology.
- Siregar, R.S. 2011. "Pembuatan *Compressed Natural Gas* dari Biogas Hasil Fermentasi Thermofilik Limbah Cair Kelapa Sawit". Tugas Akhir Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- SNI 03-6575-2001. "Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung".
- Suhamihardja, A. Suhandi. 1993. *Arsitektur Tradisional Kampung Naga*. Bandung: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Sutrisno, C. Totok *et al.* 2010. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Suwerda, Bambang. "Tinjauan Pengelolaan Sampah". Makalah Seminar Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 7 Mei 2012.
- Szokolay, S.V. 1980. *Environmental Science Handbook*. New York: John Wiley and Sons.
- Tauhid. 2008. "Kajian Jarak Jangkauan Efek Vegetasi Pohon terhadap Suhu Udara pada Siang Hari di Perkotaan". Tesis Program Pascasarjana, Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Tim Penulis PS. 2008. *Penanganan dan Pengelolaan Sampah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Tjasjono, Bayong. 1999. *Klimatologi Umum*. Bandung: Penerbit ITB.